



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Jyri Kuivalainen

VALOKUITUVERKON SELVITYSTYÖ

TEHDASAUTOMAATIOVERKON KEHITYS- JA PÄIVITYSTEHTÄVÄ

Tekniikka
2022

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Jyri Kuivalainen
Opinnäytetyön nimi	Valokuituverkon selvitystyö
Vuosi	2022
Kieli	Suomi
Sivumäärä	40
Ohjaaja	Antti Virtanen

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on tutkia, kartoittaa ja tarjota parannus- sekä kehitysehdotuksia Yaskawa Environmental Energy Division / The Switch Drive Systemsin kokoonpanotehtaan tehdasautomaation valokuituverkkoon.

Opinnäytetyö käsittelee valokuituja, valokuituverkkoa ja niihin liittyviä ilmiöitä kuvien, kaavioiden ja esimerkkien kautta.

Kuituverkon toiminnan parantamiseen ja kehittämiseen ehdotetaan lopuksi huolellista kuitujen läpikäyntiä tehomittaparilla tai kuitututkalla sekä vikaantuneiden kuitukytinten uusimista.

ABSTRACT

Author	Jyri Kuivalainen
Title	Investigation of Fiber Optic Network
Year	2022
Language	Finnish
Pages	40
Name of Supervisor	Antti Virtanen

The purpose of this thesis was to investigate and offer improvement ideas to develop more stable factory automation fiber network for Yaskawa Environmental Energy Division / The Switch.

The fiber network survey was done by scanning the network with the Fluke red light source and ping tool. After scanning and mapping defective fibers in the network, visible fibers were inspected visually. Lastly, a passive temperature measurement was performed on the fiber switches with the Thermax temperature labels.

In order to improve and develop the operation of the fiber network, it is proposed that the fibers be carefully inspected with a power meter or fiber radar and lastly the defective fiber switches to be replaced.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

KUVA- JA TAULUKKOLUETTELO

1	JOHDANTO.....	9
2	YASKAWA.....	10
	2.1 The Switch Drive Systems / Yaskawa EED.....	10
	2.2 Vaasan testausjärjestelmä	11
	2.3 Tehdasautomaatioverkko	11
3	VALOKUITU	13
	3.1 Valokuidun toimintaperiaate.....	14
	3.2 Valokuidun vaimennus.....	16
	3.3 Kuitutyypit.....	18
	3.4 SC-Liitin	20
	3.5 Phoenix Contact SF 6TX Industrial Ethernet Switch	21
4	KUITUVERKON KAAPELOINTI JA KUNTO.....	23
	4.1 Kuituverkon kunnan määrittäminen.....	25
	4.2 Kuitujen tarkastus	25
	4.3 Fluke Visifault -punavalolähde.....	26
	4.4 Tehomittapari	27
	4.5 Valokaapelitutka (OTDR).....	28
	4.6 Kuituverkon yleistilanne	29
	4.6.1 Kuitukytkinten pintalämpötilamittaukset.....	32
5	PARANNUSEHDOTUKSET JA TOIMENPITEET VERKOLLE.....	35
	5.1 Kuitukytkinten uusiminen	35
	5.2 Verkon uudelleenrakennus.....	36
	5.3 Alkuperäisten kuitujen tarkastus	37
6	JÄLKISEURANTA	38

LÄHTEET	39
---------------	----

KUVA- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuva 1. Kuituverkon rakennekaavio.	12
Kuva 2. Optisen kuidun toimintaperiaate. (Mustakangas, R. Helkama Flash Cord 2001.)	14
Kuva 3. Snellin laki ja kriittinen kulma. (Mustakangas, R. Helkama Flash Cord 2001.)	15
Kuva 4. Kuidun vaimennuksen periaatekuva ja käytetyt aallonpituusalueet. (Mustakangas, R. Helkama Flash Cord 2001.).....	17
Kuva 5. XFS LSZH -monimuotokuitu.	19
Kuva 6. SC-liitin.	20
Kuva 7. SC-duplex -liitin.	21
Kuva 8. Phoenix Contact SF 6TX -kuitukytkin	22
Kuva 9. Näkymä kaapelikourusta.....	23
Kuva 10. Valokuitujen reititys jakamosta kaapelihyllylle.	24
Kuva 11. Fluke Visifault -valokuitutesteri. Kuvassa näkyy vikaantunut kuitu.	26
Kuva 12. Tehomittaparin toiminta. Marttila, S. Nestor Cables. Kiinteistöjen optiset kaapeloinnit. 2017, 149.)	28
Kuva 13. Valokaapelitutkan toimintaperiaate. (Marttila, S. Nestor Cables FTTX Optiset liityntäverkot. 2015, 162.)	29
Kuva 14. Valvomo-ohjelman yleiskuva kuituverkon statuksesta.	30
Kuva 15. Kuitukytkin kojeistossa 02GX3 ei saa yhteyttä valvomoon.	30
Kuva 16. Esimerkki kuitujen tarkastuksesta.	32
Kuva 17. Thermax-lämpötilatarrat.	33
Kuva 18. Thermax-lämpötilamittaukset kojeistoista 02GX4 ja 02X1.	34

Taulukko 1. Lämpösiirton jaottelu ja tulokset	31
Taulukko 2. Kuitukytöiden lämpötilamittaustulokset	40

LYHENTEET JA MERKINNÄT

dB/km	-	Desibeliä per kilometri
LSZH	-	Low Smoke Zero Halogen
nm	-	nanometri
ODTR	-	Optical Time Domain Reflectometer / Kuitututka
SC-duplex	-	Kahdesta SC-liittimestä muodostettu holkkiliitin
SC-liitin	-	Subscriber Connector
SC-simplex	-	kahden SC-liittimen väliin asennettava lukitusholkki

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö toteutettiin Yaskawa Environmental Divisionissa, The Switch Drive Systemsissä, Vaasan toimipisteessä. Opinnäytetyön tavoitteena oli tarkastella teollisuuslaitoksen valokuituverkon toimintaa. Järjestelmän läpikäymisen tavoite työnantajan puolelta on löytää vikaantuneita laitteita, virhekytkentöjä ja tarjota parannusehdotuksia olemassa olevalle järjestelmälle.

Tarkastelulle ja vikadiagnosille on tarve, sillä tehdasautomaation pettäessä ongelmat voivat pysäyttää tuotannon useaksi tunniksi. Tämä aiheuttaa kustannuspaineita sekä sotkee tehtaan muita tuotantosoluja turhalla pysähdyksellä.

Alkuvuodesta 2020 Vaasan tehtaalla aloitettiin projekti, jossa perehdyttiin syvemmin tehtaan automaatiojärjestelmän statukseen. Järjestelmään oli tehty aikaisemmin useita dokumentoimattomia huolto- sekä päivitystoimia, jotka tuli käydä läpi ja dokumentoida.

Opinnäytetyö keskittyy yhtenä osana tehdasautomaatioverkon toiminnan kehittämiseen.

2 YASKAWA

Yaskawa Electric Corporation on japanilainen yritys, joka tarjoaa elektroniikan, robotiikan ja tietotekniikan sovelluksia kansainvälisille markkinoille. Lisäksi Yaskawa tarjoaa uusiutuvan energian ratkaisuja tuulivoimaan, aurinkovoimaan sekä meriteollisuuteen. Yritys on perustettu vuonna 1915 ja sen pääkonttori sijaitsee Japanissa, Kitakyushun kaupungissa. Yaskawan liikevaihto vuonna 2021 oli noin 3,7 miljardia dollaria. (The Switch. 2022.)

2.1 The Switch Drive Systems / Yaskawa EED

The Switch on vuonna 2006 perustettu teollisuusyritys, jonka päätuotealueet ovat tuulivoimatekniikan generaattorit sekä tehonmuokkaimet. Yritys työllistää n. 130 henkilöä. (The Switch. 2022.)

Syyskuussa 2013 The Switch aloitti yhteistyön japanilaisen Yaskawa- konsernin kanssa. Tällöin yrityksen uudeksi nimeksi tuli The Switch / Yaskawa Environmental Energy Division (EED). (The Switch. 2022.)

Switchillä on Suomessa kolme toimipistettä, jotka sijaitsevat Helsingissä, Lappeenrannassa ja Vaasassa. Vaasa ja Lappeenranta ovat tuotantolaitoksia, kun taas Helsingin toimipiste toimii yrityksen pääkonttorina. (The Switch. 2022.)

2.2 Vaasan testausjärjestelmä

Vaasan toimipiste sijaitsee Runsorissa, Yrittäjänkadulla. Tehdas on ns. ”kokooppa-notehdas” eli tehtaalla tuotantolinjalla keskitytään pääasiassa kestopagneettigeneraattorin kokoamiseen ja lopputestaamiseen. Kestopagneettigeneraattoreiden lisäksi tehtaalla kasataan ja testataan erikokoisia kaappiin rakennettuja tehonmuokkaimia eli konverttereja.

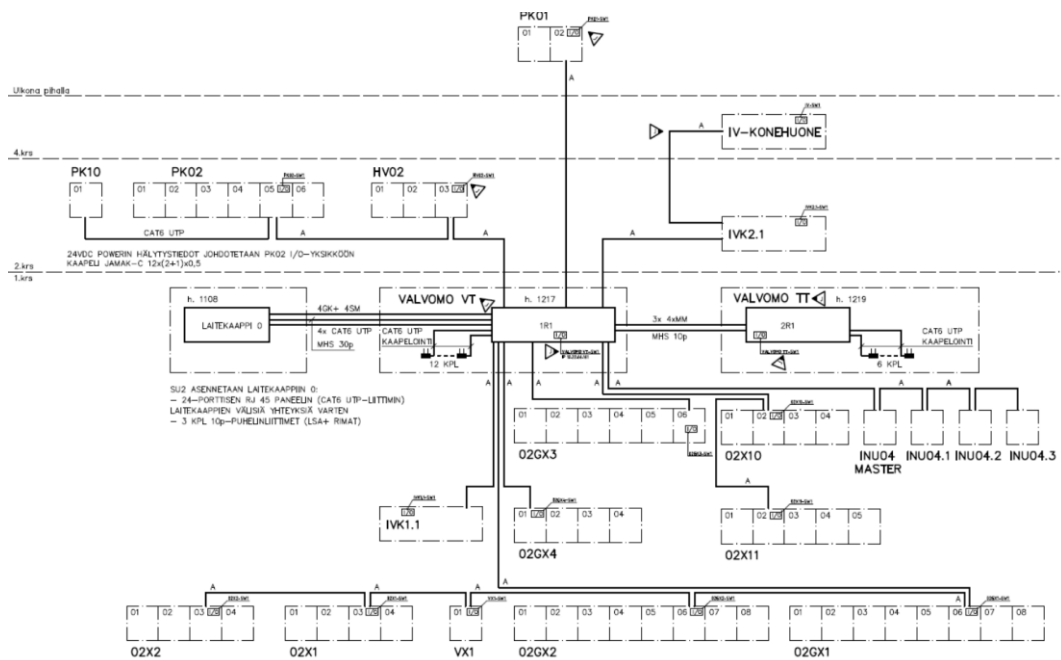
Koska tehtaassa testattavien kestopagneettigeneraattorien nimellistehot ovat melko suuria, koestusjärjestelmät ovat mitoitettu hyvin järeiksi. Tämä aiheuttaa haasteita laitteiston mekaanisen kestopyvyn, termisen keston sekä suurista virroista indusoituvien häiriövirtojen hallinnan kanssa.

2.3 Tehdasautomaatioverkko

Koestusjärjestelmän ja automaatiojärjestelmän kaikki tieto- ja ohjausliikenne kulkee valvomon kautta. Valvomotilassa on useita eri rajapintoja tehdasautomaation ohjaamiseen, säätämiseen ja valvomiseen.

Valvomo toimii keskuspiteenä, josta lähtee tähtimäisesti yhteyksiä eri puolille rakennusta. Suurin osa kuitukytkimistä on ketjutettuina toisiinsa muodostaen pitkiä kokonaisuuksia.

Kuvassa 1 on esitettyä kuituverkon rakenne kaavion muodossa.



Kuva 1. Kuituverkon rakennekaavio.

Valvomo VT on kuvassa keskellä, josta lähtee ketjutettu kuituyhteys ylös kojeistoille HV02, PK02 ja PK10. Alemmissa ketjuissa näkyvät kojeistokeskusten O2X2, O2X1, VX1, O2GX2 sekä O2GX1 kuituverkon rakenne.

3 VALOKUITU

Valokuitu on ohut, yleensä piioksidista (SiO_2) valmistettu sauvamainen johdin, joka kuljettaa valoa. Kuidun valmistuksessa käytetään myös muoviseoksia. Valokuitu koostuu kahdesta osasta; ytimestä, jonka tehtävä on johtaa valoa ja ydintä suojaavasta kuoresta, jonka tehtävä on toimia heijastuspintana. Ydin on siis optisesti tiheämpää ainetta kuin ytimen ympärillä oleva kuori. (Inkinen, P., Manninen, R. & Tuohi, J. Momentti 2. 2006, 376–377.)

Kuituoptiikan hyviin puoliin voidaan lukea dielektrisyys, eli sähkönjohtamattomuus. Valokuidut valmistetaan sähkövirtaa eristävästä materiaalista, joten tiedonsiirtoon vaikuttavat indusoituneet häiriövirrat eivät pääse vaikuttamaan kuidun viestintäliikenteeseen. Tämä on erittäin tärkeä asia erityisesti silloin kun kuituverkko on suurten sähkökojeistojen läheisyydessä. (Inkinen, P., Manninen, R. & Tuohi, J. Momentti 2. 2006, 377.)

Nykyaikana on olemassa myös häiriösuojattuja CAT6-S-FTP -verkkokaapeleita, mutta valokuidun tiedonsiirtonopeus on edelleen ylivoimainen Ethernet-protokollaan nähden.

Kuituoptiikka on vallannut perinteisiltä kuparijohtimiin perustuvilta tiedonsiirtojärjestelmiltä hyvin nopeasti tilaa. Siirtymää on nopeuttanut erityisesti nopeiden laajakaistojen yleistyminen joka puolella maata, sillä esimerkiksi yksimuotoisen kuidun kaistanleveys yhdellä aallonpituudella verrattuna CAT6-parikaapeliin on noin 4000 kertainen. Lisäksi valokuiduilla voidaan toteuttaa todella pitkiä, jopa yli 12 km yhteyksiä ilman signaalin toistimia tai vahvistimia. (Marttila, S. Nestor Cables FTTX Optiset liityntäverkot. 2015, 12.)

Edellä mainittujen seikkojen lisäksi valokuitu on hyvin ohut, joten sen asennus onnistuu usein paksumpaa moniparikaapelia helpommin. Toisaalta valokuituliittimien ja kaapelin käsittely vaatii tarkempaa huolellisuutta kuin Ethernet-kaapeli koko asennuksen ajan.

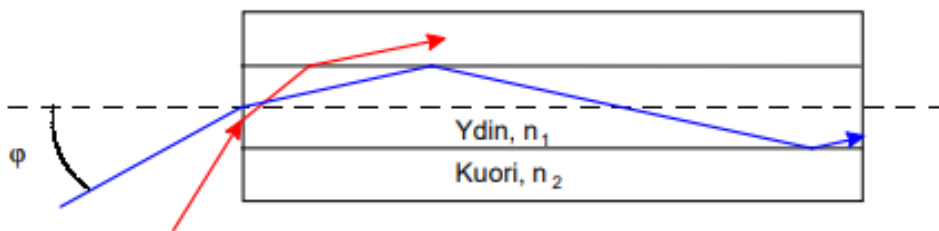
3.1 Valokuidun toimintaperiaate

Valokuidun toiminta perustuu alankomaalaisen matemaatikon, Willebrord Snelliuksen löytämään taittumislakiin. Lain mukaan, valonsäteen saapuessa kahden toisistaan optisesti eroavan aineen rajapintaan, tapahtuu heijastuminen tai taittuminen riippuen valon tulokulmasta ja aineiden optisista taitekertoimista. (O'Connor, J. Robertson, E. Willebrord van Royen Snell. 2010.)

Taittumislaki voidaan esittää myös muodossa:

$$n_1 \sin \varphi_1 = n_2 \sin \varphi_2$$

Missä n_1 ja n_2 ovat aineiden taitekertoimet sekä $\sin \varphi_1$ ja $\sin \varphi_2$ valon tulo- ja taitekulma. Kuvassa 2 esitetään optisen kuidun toimintaperiaate.



Kuva 2. Optisen kuidun toimintaperiaate. (Mustakangas, R. Helkama Flash Cord 2001.)

Valonsäteen saapuessa kulmassa φ_1 optisesti tiheämmästä aineesta n_1 optisesti harvempaan n_2 , säde taittuu aineiden rajapinnassa kulmaan φ_2 . Säde taittuu siis pintojen välisestä normaalista poispäin. (Lehto, H., Havukainen, R., Maalampi, J. & Leskinen, J. 2012. Fysiikka 3, Aallot. 86–88.)

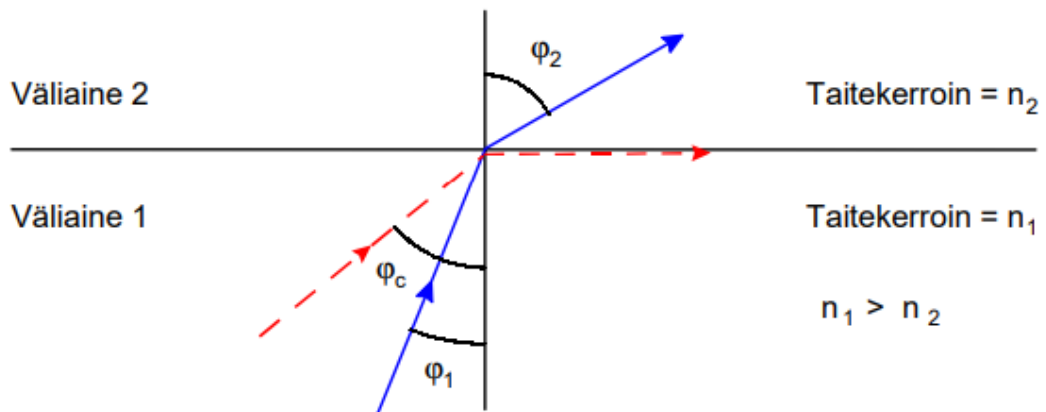
Valonsäteen tulokulman kasvaessa valonsäde ennen pitkää taittuu pinnan normaalin suuntaiseksi. Mikäli säteen tulokulma kasvaa tästä vielä lisää, tapahtuu säteen kokonaisheijastuminen. Kokonaisheijastuminen tarkoittaa, että valonsäde,

joka tulee väliaineiden rajapintaan aineesta n_1 , heijastuu rajapinnasta takaisin väliaineeseen n_1 identtisesti kulmassa. Valonsäteen hallittu liike valokuidun sisällä perustuu siis kokonaisheijastumisen hyödyntämiseen kahden optisesti eroavan aineen rajapinnassa. (Marttila, S. Nestor Cables FTTX Optiset liityntäverkot. 2015, 16–18.)

Kokonaisheijastuminen voidaan esittää myös muodossa:

$$\sin \varphi_r = \frac{n_2}{n_1}$$

Missä n_1 ja n_2 ovat aineiden taitekertoimet ja φ_r on kokonaisheijastumisen rajakulma. Kuvassa 3 esitetään taittumislaki ja kriittisen kulman aiheuttama kokonaisheijastuminen.



Kuva 3. Snellin laki ja kriittinen kulma. (Mustakangas, R. Helkama Flash Cord 2001.)

3.2 Valokuidun vaimennus

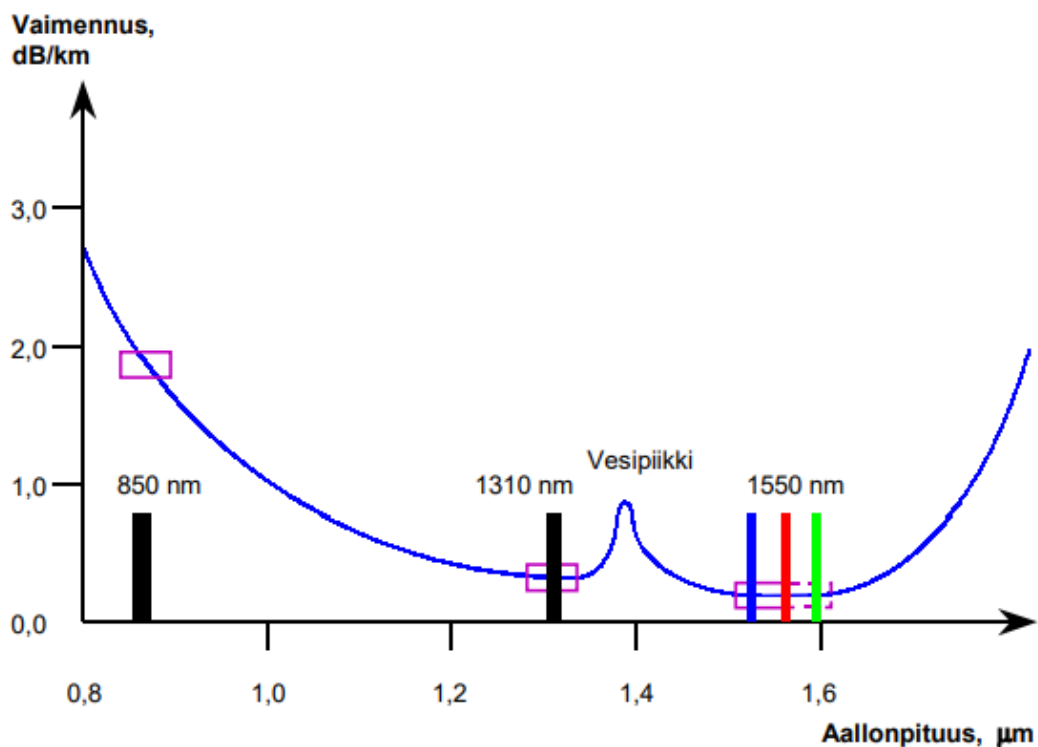
Valokuidut eivät ole täydellisiä valoa häviöttömästi johtavia johtimia, vaan käytännössä valo ”himmenee” kuidun sisällä mitä pidemmälle etäisyydelle valon lähteestä siirrytään. Tätä ominaisuutta sanotaan vaimennukseksi, ja sen mittayksikönä käytetään dB/km. (Desibeliä per kilometri). Vaimennus riippuu useasta tekijästä, joita ovat mm. kuidun valmistusmateriaali, käytetyn signaalin aallonpituus λ , kuituun tehdyt liitokset ja liittimet sekä myös kuidun taivuttaminen asennuksen yhteydessä.

Seppo Marttila käsittelee signaalin vaimentumista teoksessaan Nestor Cables FTTX Optiset liityntäverkot. 2015. seuraavalla tavalla:

”Vaimennus kuidussa aiheutuu pääasiassa kahdesta seikasta: absorptiosta ja sironnasta. Absorptio tarkoittaa kuidussa olevien epäpuhtauksien sekä infrapuna-alueen (IR) ja ultraviolettialueen (UV) aiheuttamaa valotehon imeytymistä kuidun materiaaliin. Tärkeimpiä vaimennusta aiheuttavia epäpuhtauksia ovat OH-ionit. Sironna tarkoittaa kuidussa olevien mikroskooppisen pienien taittekerroinerojen aiheuttamaa heijastumista kaikkiin suuntiin.” (Marttila, S. Nestor Cables FTTX Optiset liityntäverkot. 2015, 23–24.)

Marttilan mainitsemat OH-ionit, eli hydroksidi-ionit ovat kuidun valmistusvaiheessa materiaalin sisälle päätyneitä vesimolekyylien osia. Hydroksidi-ionit aiheuttavat kuidun sisällä n. 1400 nm aallonpituuden kohdalla absorptiopiikin, joka kaventaa kuidun tiedonsiirtoikkunaa. Tämä ns. ”Vesipiikki” on sikäli ongelmallinen, sillä se osuu miltei juuri matalimman vaimennuksen tiedonsiirtoikkunalle. Aallonpituuden kasvaessa yli 1550 nm, kuidun oma rakenteellinen vaimennus alkaa vahvistumaan hyvin nopeasti. Tämä johtuu kvartsilasin molekyylirakenteen aiheuttamasta absorptiosta. (Marttila, S. Nestor Cables FTTX Optiset liityntäverkot. 2015, 23–24.)

Kuvassa 4 esitetään valosignaalin vaimeneminen aallonpituuden funktiona. Kuvasta näemme, että 800 nm ja 1800 nm aallonpituuksien välillä on kolme mahdollista ikkunaa.



Kuva 4. Kuidun vaimennuksen periaatekuva ja käytetyt aallonpituusalueet. (Muskangas, R. Helkama Flash Cord 2001.)

Kuvassa 3 on esitetty signaalin vaimennus aallonpituuden funktiona välillä 800 nm – 1800 nm välillä. Kuvaan on merkitty kolme yleisesti tiedonsiirtoon käytettyä aallonpituutta, joiden kohdalla signaalin vaimennus on heikkoa. Nämä aallonpituudet ovat 850 nm, 1310 nm sekä 1550 nm. Näistä aallonpituuksista käytetään nimitystä *transmissioikkuna*. (Marttila, S. Nestor Cables FTTX Optiset liityntäverkot. 2015, 24–25.)

850 nm ikkuna on laajalti käytössä kustannussyistä, vaikka alueen vaimennus on suurempi kuin kahdella muulla yleisesti käytetyllä ikkunalla. 850 nm suosio johtuu siitä, että tälle taajusalueelle on markkinoilla paljon erilaisia melko edullisia lähettäjiä ja vastaanottimia.

3.3 Kuitutyypit

Kuluttajille myytävät valokuidut voidaan jakaa karkeasti kahteen perustyyppiin; yksimuotokuituihin ja monimuotokuituihin.

Yksimuotokuidussa valon eteneminen perustuu vain yhden aallonpituuden muodostamaan pulssiin, joka suurelta osin etenee kokonaisuheijastumisen avulla kuidun sisällä. Yksimuotokuitujen ytimet ovat yleensä todella ohuita, noin 5–10 µm paksuisia. Kuidun rakenteelliset ominaisuudet kuitenkin aiheuttavat valoallon osittaisen etenemisen myös kuidun kuoressa. Yksimuotokuidut ovat yleistyneet tele- ja tietoverkoissa sekä yleiskaapeloinneissa monimuotokuitujen kustannuksella. Tämä johtuu pitkälti siitä, että monimuotokuidulla on varsin suuri vaimennus sekä melko kapea kaistanleveys verrattuna yksimuotokuituun. (Marttila, S. Nestor Cables FTTX Optiset liityntäverkot. 2015, 17–19.)

Monimuotokuidun rakenteellinen ero yksimuotokuituun on kuidun ytimen ja suo- jakuoren välisessä taitekertoimessa. Monimuotokuidun suo- jakuoreen on seos- tettu opista tiheyttä heikentäviä aineita portaitaisesti, jolloin valosignaalin taittu- minen tapahtuu eri kulmissa syvemmälle kuoreen mentäessä. Tällä rakenteelli- sella erolla saadaan aikaiseksi tilanne, jossa valopulssi voi edetä useampia erilaisia reittejä pitkin. Tämä rakenne-ero aiheuttaa valopulssien levenemisen edetessään kuidussa. Pulssin leveneminen rajoittaa tätä kautta valon siirtotaajuutta, joka aset- taa ylärajan kuidun kaistanleveydelle. Monimuotokuidun ydin on tavallisesti n. 50 µm paksuinen. (Marttila, S. Nestor Cables FTTX Optiset liityntäverkot. 2015, 17– 19.)

Kuvassa 5 on näkyvissä verkon valokaapelin kuoreen painetut merkinnät.



Kuva 5. XFS LSZH -monimuotokuitu.

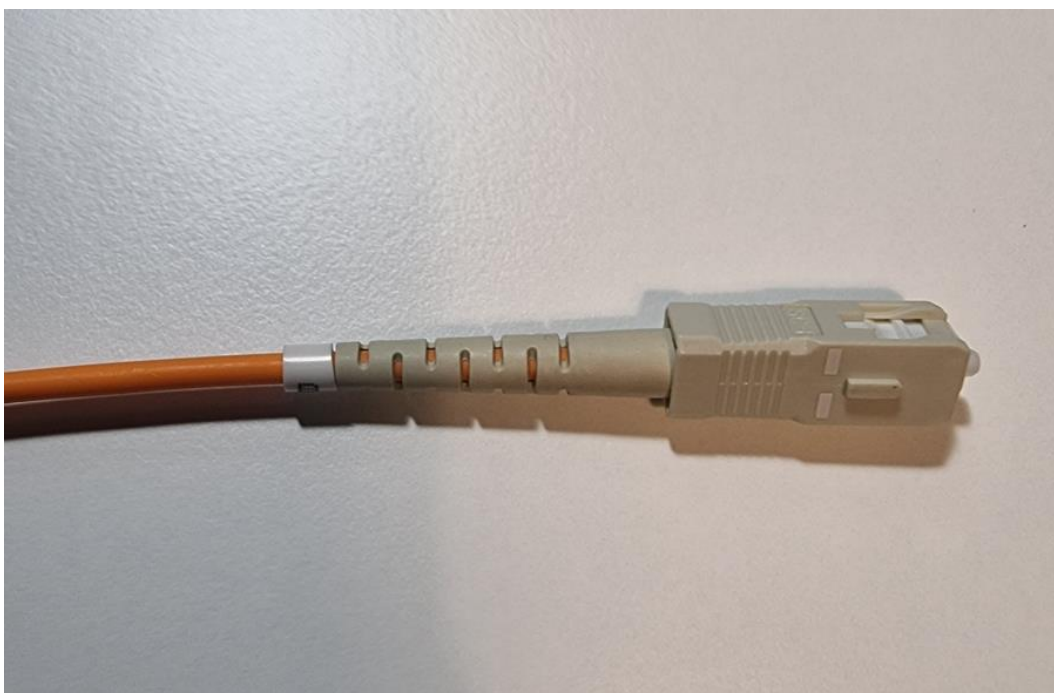
Tarkasteltavan teollisuusverkon runkokuiduksi on valittu XFS-monimuotokuitu, jonka ytimen paksuus on 62.5/125 μm . Tämä kuitukaapelityyppi on nykyisillä standardeilla vanhentunut, sillä se ei täytä IEC-60793-2-10 -standardin asettamia vaatimuksia. Tätä kaapelityyppiä voi esiintyä yli 10 vuotta vanhoissa asennuksissa, kuten tässä tapauksessa. Kaapelin tyyppi on LSZH (Low Smoke Zero Halogen), joka on suunniteltu käytettäväksi teollisuuslaitoksissa kuten ydinvoimalaitoksessa ja sähkölaitoksessa, sekä julkisissa tiloissa kuten sairaaloissa, kouluissa ja muissa rakennuksissa, joissa ihmisten turvallisuus on etusijalla. (Marttila, S. Nestor Cables FTTX Optiset liityntäverkot. 2015, 41–43.)

LSZH-tyypin kuitu on halogeenivapaa ja palosuojattu monimuotokuitu, joka syttyessään ei aiheuta suuria määriä savua tai myrkyllisiä palokaasuja. LSZH on myös korroosiosuojattu. Tulipalon sattuessa suurin vaara pelastautuville sivullisille ja paloa sammuttavalle pelastushenkilöstölle aiheutuu näkymättömistä ja myrkyllisistä palokaasuista, joita syntyy syttymisen seurauksena esimerkiksi halogeeniestä kuten fluorista, bromista ja jodista. (Marttila, S. Nestor Cables FTTX Optiset liityntäverkot. 2015, 41–43.)

3.4 SC-Liitin

Tarkastelun kohteena olevan kuituverkon liitintyyppi on valittu rakennusvaiheessa SC-liitin. SC-liitin (Subscriber Connector) on japanilainen holkki-liitin, jonka runko on muovia ja poikkileikkausmuoto on nelikulmainen (Kuva 6.). Liitin lukittuu paikoilleen holkissa olevien kielekkeiden avulla. SC-Liitin on yleisin liitintyyppi sekä yksimuotokuiduissa myös monimuotokuiduissa. (Marttila, S. Nestor Cables FTTX Optiset liityntäverkot. 2015, 51–52.)

SC-liittimien hyvä puoli on niiden helppo käyttö kuitujen yhdistämiseen. Kahden SC-liittimellä varustetun kuidun väliin voidaan asentaa SC-simplex liitinadapteri, joka toimii samalla kohdistusputkena kuiduille.



Kuva 6. SC-liitin.

SC-liittimiin on saatavilla myös erilaisia yhdistyspaloja. Esimerkiksi SC-duplex, jolloin kahdesta SC-simplex -adapterista saadaan SC-duplex -liitinadapteri.

Kuvassa 7 on SC-duplex -liitin yhdistettynä kuitukytkimeen. Kuva on otettu mittalaitekaapin sisältä.



Kuva 7. SC-duplex -liitin.

3.5 Phoenix Contact SF 6TX Industrial Ethernet Switch

Tehdasautomaatioverkon kuitukytkimiksi on valittu rakennusvaiheessa Phoenix Contact SF 6TX -kuitukytkin (Kuva 8.). Kytkin on teollisuuskäyttöön tarkoitettu, IP20 koteloitu, alumiinista valmistettu ja DIN-kiskoon asennettava komponentti. Kuitukytkin on tuotu markkinoille vuonna 2008, joten se ei pysty suoriutumaan nykyaikaisista tiedonsiirtonopeuksista. Kuitukytkin on varustettu kuudella Ethernet RJ45-portilla ja kahdella SC-multimode -kuituliittimellä. (Phoenix Contact Fibre Switch datasheet.)

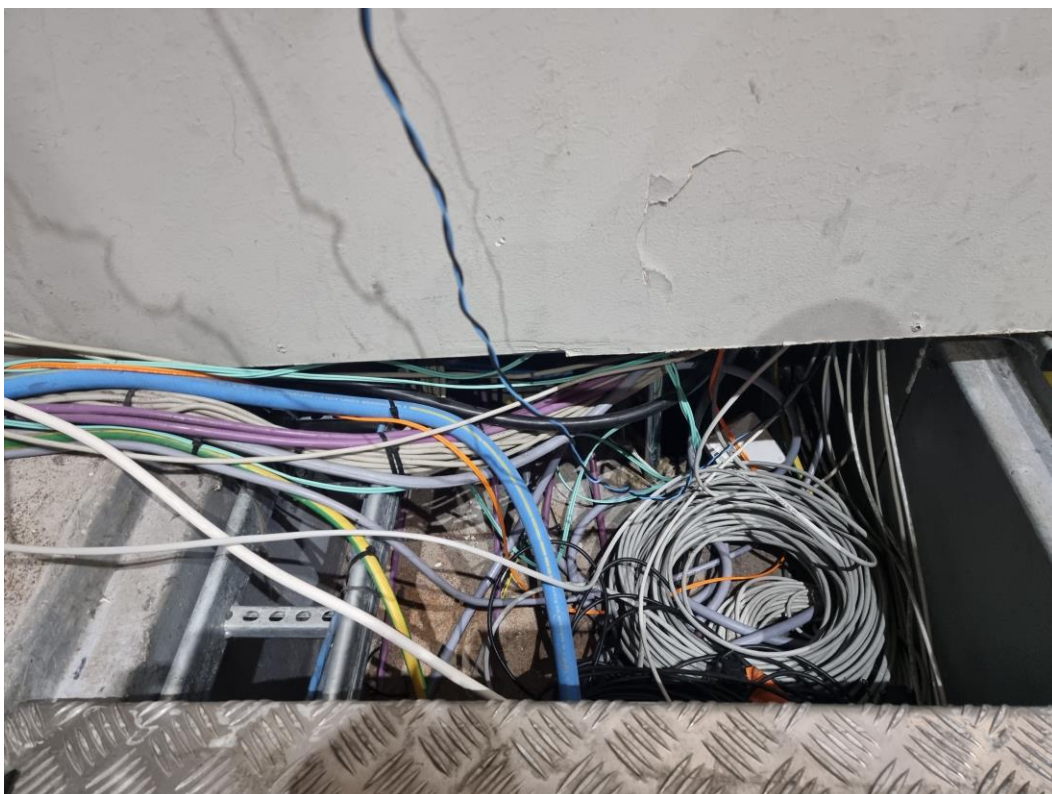


Kuva 8. Phoenix Contact SF 6TX -kuitukytkin

Kuitukytkimen käyttölämpötila on 0 °C - 55 °C ja käyttöjännite on maksimissaan 30 V DC. Kuitenkin tietolomakkeessa suositellaan käyttämään 24V DC jännitettä. Kahta duplex-kuitua käyttämällä kytkin kykenee lähettämään ja vastaanottamaan 100 Mbit/s nopeudella.

4 KUITUVERKON KAAPELOINTI JA KUNTO

Tuotantolaitoksen tietoliikennekaapelointi on asennettu valtaosin kaapelihyllyille (Kuva 10.) ja kaapelikouruihin (Kuva 9.). Seinien läpiviennit on useasta kohdasta käsitelty palokatkoilla. Tuotantolaitoksen muutostyöt ja tilapäisten testauspaikkojen rakentaminen ovat pakottaneet käyttämään lattioilla sijaitsevia kaapelikouruja myös kuitujen reititykseen valvomotilan ja mittalaitteen välille.



Kuva 9. Näkymä kaapelikourusta.

Kaapelikourut ovat usein hyvin likaisia ja sinne asennetut kaapelit alttiita mekaaniselle rasitukselle. Näitä voivat olla esimerkiksi liikkuminen kourujen yli tai kaapeleihin kohdistuva veto. Kourujen päälle asennettavat väliaikaiset alumiiniset astumissuojat ovat aiheuttaneet useasti kaapeleiden eristeiden rikkoontumisia.

Valokaapeliensa asennusohjeistuksen mukaan valokaapelin asennuksen aikana sallittu taittosäde on 20 kertaa kuidun halkaisija. Lopullisen asennuksen taitto-

säteeksi annetaan 10 kertaa kuidun halkaisija. Johtuen kaapelin ohuesta paksuudesta nämä rajoitukset eivät estä kuidun käyttöä lattiakouruissa. (Nestorcables.fi. Valokaapelin käsittely asennuksen aikana. 2018.)



Kuva 10. Valokuitujen reititys jakamosta kaapelihyllylle.

Alkuperäiset kuidut ovat reititetty selkeitä linjoja pitkin suoraan ylös, missä niihin ei kohdistu ylimääräistä räsitusta tai muita riskitekijöitä. Kuitujen taittosäde on loiva, mikä ehkäisee mikromurtumien muodostumista.

Väliaikaisten testauspaikkojen tietoliikenneyhteyksien rakentamiseen kaapelikourut ovat riittävät mutta pysyvät asennukset tulisi tehdä standardien mukaan. Tämä säästäisi aikaa vikadiagnostiikassa ja selvitystyössä.

4.1 Kuituverkon kunnan määrittäminen

Tietoliikenneongelmat ovat suurin yksittäinen vikailmoitusten luokitteluryhmä. Tietoliikenneyhteyden katketessa kesken testien lopputulos on yleensä epäonnistunut testi ja sitä kautta uuden testin suorittaminen.

The Switch käyttää tuotannossaan laatuongelmien ja edistymisen tarkkailuun erillistä järjestelmää. Vikalokin yksityiskohtaisempi tarkastelu osoittaa, että tehdasautomaatioverkon toiminnan turvaaminen on tärkeää.

Vuosina 2020 ja 2021 vikalokin mukaan n. 27 % kaikista testauksen vikailmoituksista koski tehdasautomaatiolla ohjattua jäähdytystä. (Andon data. 2020–2021)

Johtuen tuotannon suuresta volyyymistä ja kovista aikataulupaineista, kuituverkon statuksen analysointia pitää painottaa iltaan ja vapaisiin hetkiin, kun testilaitteisto ei operoida.

4.2 Kuitujen tarkastus

Kuituverkko koostuu kytkimistä, jotka ovat linkitetty kuituparilla kytkimeltä toiselle. Kuidut ovat merkattu A:ksi ja B:ksi. Kaikissa kuiduissa ei ole näkyvissä kumpi johdin oli A tai B, joten virhekytkentä on mahdollinen. Koska valokuituverkko on iäkäs ja sinne on tehty dokumentoimattomia muutoksia, kuituverkon polariteetit on hyvä käydä läpi ja tarkastaa, vastaavatko ne verkon järjestelmäkaaviota. **(Kuva 1.)** Polariteetin tarkastuksen yhteydessä on luontevaa tarkastaa testattavan kuidun kunto mahdollisten liitinvuotojen ja mekaanisten vaurioiden varalta. Tätä tehtävää varten investoimme valokuitutesterin, joka esitellään seuraavassa kappaleessa.

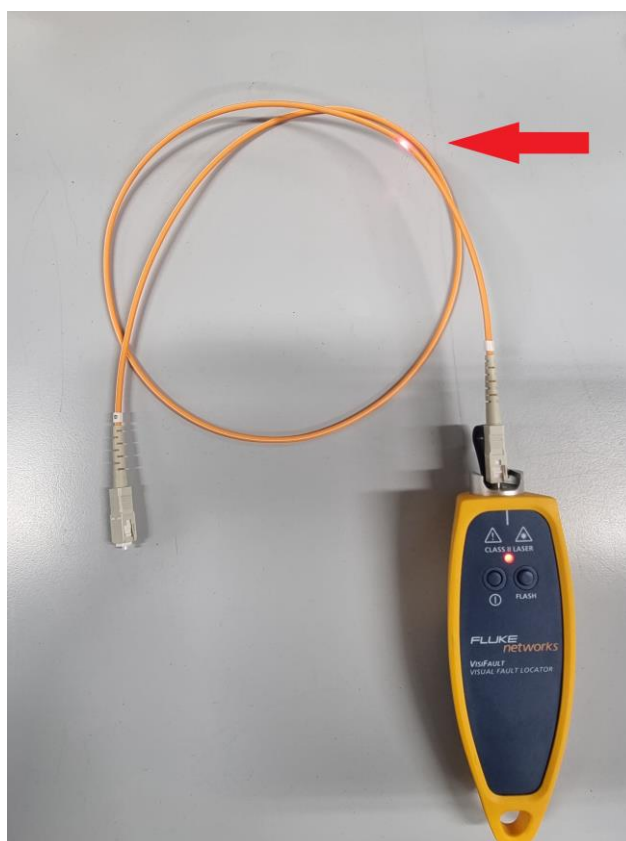
Mekaanisten vaurioiden lisäksi liitinpintojen väliin menevät epäpuhtaudet aiheuttavat ylivoimaisesti suurimman osan kuituverkon toimintaa haittaavista vioista. Liitinten toistuva uudelleenkytkeminen altistaa pinnat suurella todennäköisyydellä epäpuhtauksille, varsinkin jos kytkin sijaitsee pölyisessä tai likaisessa tilassa.

4.3 Fluke Visifault -punavalolähde

Investoimme tutkimusta varten Fluke Visifault -valokuitutesterin. Visifault on punavalolähde, jolla etsitään valokuiduista murtumakohtia, katkoja sekä löysiä liitoksia. Valokuitutesterin lähettämä punavallo tulee ehjän kuidun päästä päähän voimakkaasti, joten katkenneet ja vaurioituneet kuidut ovat hyvin helppo etsiä ja vaihtaa uusiin. Tätä toimenpidettä kutsutaan läpisoittamiseksi. (Marttila, S. Nestor Cables. Kiinteistöjen optiset kaapeloinnit. 2017, 149.)

Tehdasautomaatiojärjestelmän valokuidut ovat reititetty suurelta osin kaapelihyllyille, kaapelikouruihin ja osittain rakenteiden sisään, joten vian näkeminen paljain silmin on epätodennäköistä.

Kuvassa 11 on näkyvissä miltä vikaantunut kuitu näyttää testerin kanssa.



Kuva 11. Fluke Visifault -valokuitutesteri. Kuvassa näkyy vikaantunut kuitu.

4.4 Tehomittapari

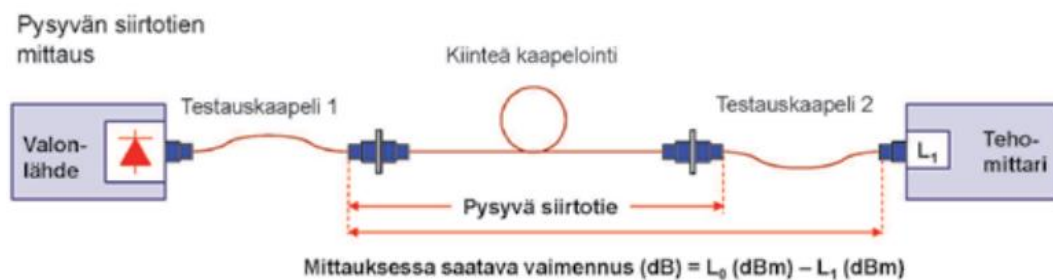
Vaihtoehtoinen tapa tarkastaa kaapeleiden polariteetti ja rakenteellinen kunto on käyttää tehomittaparia. Tehomittapari koostuu kahdesta laitteesta; valonlähteestä ja optisesta tehomittarista.

Valonlähde lähettää valokuituun valoa halutulla teholla ja halutulla aallonpituudella. Valonlähteen valintaan vaikuttaa tutkittavan kuidun tyyppi. Monimuotokuitujen valonlähteissä käytetään LED-lähetintä, kun taas yksimuotokuitujen valonlähteet on varustettu laserdiodilla. (Marttila, S. Nestor Cables. Kiinteistöjen optiset kaapeloinnit. 2017, 140–149.)

Optinen tehonmittari mittaa valonlähteen lähettämän valon voimakkuutta. Tästä samasta mittadatasta saadaan määritettyä myös mitattavan kuidun pituus tarpeen vaatiessa.

Tehomittaparin käyttö menee seuraavalla tavalla. Ensin tehomittari kytketään valonlähteeseen ja tehomittari mittaa valonlähteen lähettämän valotehon. Tämän jälkeen valonlähde liitetään mitattavaan valokaapelin toiseen päähän sopivilla liittimillä. Tehomittari liitetään toiseen päähän. Nyt mitataan valonlähteen lähettämä valoteho uudestaan. Lopullinen kaapelin vaimennus saadaan vähentämällä ensiksi mitatusta lähetystehosta toinen mittatulos. Jäljelle jää kaapelin vaimentava vaikutus. Marttila, S. Nestor Cables. Kiinteistöjen optiset kaapeloinnit. 2017, 144.)

Kuvassa 12 on esitetty tehomittaparin toiminta.



Kuva 12. Tehomittarin toiminta. Marttila, S. Nestor Cables. Kiinteistöjen optiset kaapeloinnit. 2017, 149.)

Tehomittarin käyttö on suositeltavaa, kun tutkittavan valokuituverkon vaimennuksen tarkastelu tulee kyseeseen.

4.5 Valokaapelitutka (OTDR)

Valokaapelitutka (OTDR - Optical Time Domain Reflectometer) on mittalaite, jonka toiminta perustuu valokuidun takaisinsirontaan ja valon heijastumiseen taitekerroimen muutoskohdista. Näitä ovat esimerkiksi taittokohdat ja murtumakohdat, joissa kuituun on tullut esimerkiksi mikromurtumia. Valokaapelitutkalla saadaan selville kuituyhteyden vaimennus ja sen jakautuminen kuidun eri osissa, liitosten vaimennukset ja niiden sijainti, mitattavan kuidun pituus ja mahdolliset kuituyhteyden katkokset sekä niiden sijainti. (Marttila, S. Nestor Cables. Kiinteistöjen optiset kaapeloinnit. 2017, 150.)

Kaapelitutkan mittaustulos on puhtaasti tulkinnallinen, joten sen lukemiseen tarvitaan ammattitaitoa ja perehtyneisyyttä asiaan. Tämä tarkoittaisi mittausspalvelun ostamista konsulttityönä.

Valokaapelitutkan toimintaperiaate on esitelty kuvassa 13.



Kuva 13. Valokaapelitutkan toimintaperiaate. (Marttila, S. Nestor Cables FTTX Optiset liityntäverkot. 2015, 162.)

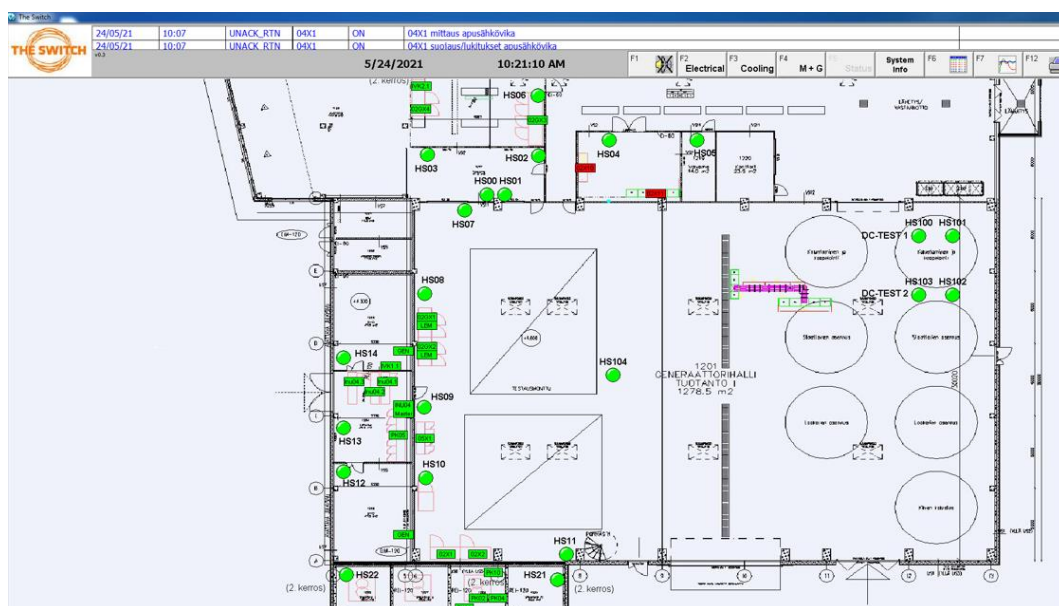
4.6 Kuituverkon yleistilanne

Tehtaan automaatiolaitteiston ja verkon statusksen yleisnäkyvä avautuu valvomon PC:n kautta. Automaatiojärjestelmät ovat linkitetty erilliseen "VALVOMO" sovellukseen, joka on tehty Wonderware In-Touch -ohjelmalla.

Rajapintaan on tuotu taajuusmuuttajien ja kuituverkon status värikoodattuna. Toiselta sivulta löytyy tehtaan sähkösyöttöjärjestelmän ohjaus ja valvonta.

Kuitukytkimet näkyvät verkon yleisnäkyvässä laatikkoina, jotka ovat joko punaisia tai vihreitä niiden senhetkisen statussen mukaan. Punainen väri tarkoittaa, että viestiyhteys on tällä hetkellä poikki. Vihreät pyöreät kuvakkeet esittävät hätäseispiirin statusta ja painikkeiden tilatietoa.

Kuvasta näkee, että verkossa on tarkasteluhetkellä tietoliikenneyhteyksien katkoksia.



Kuva 14. Valvomo-ohjelman yleiskuva kuituverkon statuksesta.

Kojeisto 02GX3 (Kuva 15.) sijaitsee konverterrikaappien testaamiseen tarkoitetussa laboratoriotilassa. Tämä yhteys on takkuillut usein aikaisemminkin, joten aloitimme verkon läpisoittamisen konverterilaboratorion kojeistoilta valvomon suuntaan.



Kuva 15. Kuitukytkin kojeistossa 02GX3 ei saa yhteyttä valvomoon.

Pitäksemme läpikäymisen mahdollisimman selkeänä jaoimme tarkastettavat kuitut valvomosta lähteviin ketjutettuihin linkityksiin. 1R1 merkintä tarkoittaa valvomon päässä olevaa kytkentäpaneelia.

Tarkempi järjestys ja läpisoiton tulokset on esitelty taulukossa 1.

Taulukko 1. Läpisoiton jaottelu ja tulokset

Valokuidut				
1R1 - HV02	OK		1R1 - 02GX1	OK
			02GX1 - 02GX2	OK
1R1 - 02GX3	OK		02GX2 - VX1	OK
1R1 - 02GX4	OK		VX1 - 02X1	OK
INU04s			02X1 - 02X2	OK
1R1 - INU04 M	OK		02X2 - 04X1	OK
INU04 M - INU04.1	OK		04X1 - PK04	OK
INU04.1 - INU04.2	OK		PK04 - PK02	OK
INU4.2 - INU4.3	OK			
			1R1 - PK01	OK
1R1 - IVK2.1	OK			
IVK2.1 - IV_Konehuone	OK			

Läpisoittamisen aikana ei löytynyt yhtään vaihdettavaa tai viallista kuitua ja kuitujen merkinnät olivat oikein. Kahdesta kuidusta puuttui A ja B merkintä, joten lisäsimme ne tarkastelun jälkeen valokuituihin.

Punavalolähteellä lähetetään kytkentäpaneelin päästä valoa haluttuun kuituun ja kuitukytkimen päässä tarkastetaan, tuleeeko signaali perille (Kuva 16.).

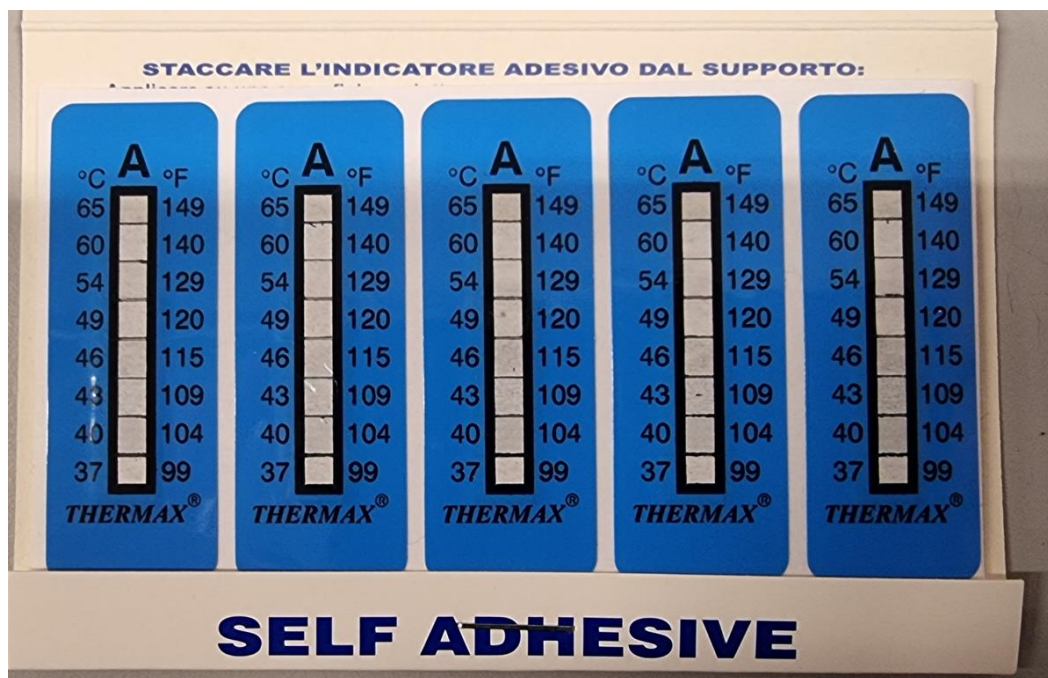


Kuva 16. Esimerkki kuitujen tarkastuksesta.

4.6.1 Kuitukytinten pintalämpötilamittaukset

Tuotantolaitoksessa koestettujen sähkökoneiden ja konvertertien teho on kasvanut ajan kanssa suuremmaksi. Jännitetasojen pysyessä samana tehonnosto on tehty kasvattamalla sähkövirtaa. Sähkövirrasta aiheutuva lämpökuorma voi lämmittää kojeistokeskuksia, joissa automaatioverkon laitteistot sijaitsevat.

Kytinten lämpötilaa testien aikana tutkittiin laitteiden pintaan liimattavien lämpöön reagoivien tarrojen avulla (Kuva 17.).

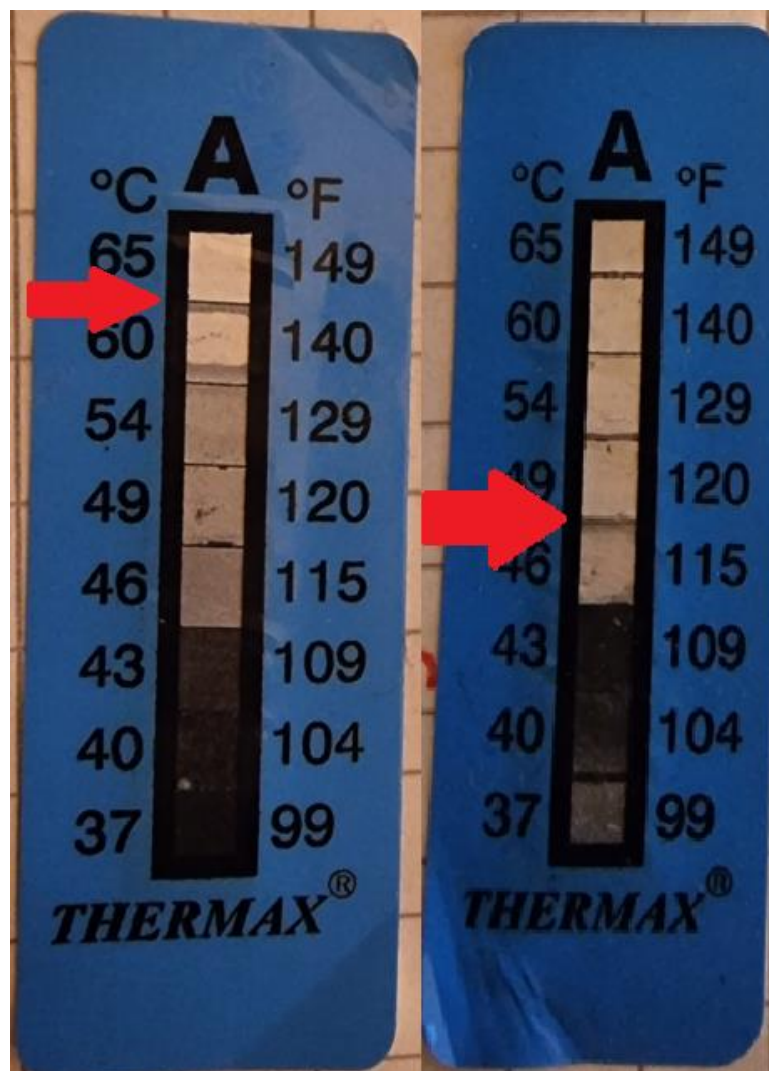


Kuva 17. Thermax-lämpötilatarrat.

Tarrat liimattiin kojeistojen sisällä olevien kuitukytkinten kotelon metallipintaan. Mittausten lopputulokset taulukoitiin ja tallennettiin verkkolevylle myöhempää käyttöä varten. (taulukko 2.).

Kytkien lämpötilamittaus toteutettiin talviaikaan, jolloin tehtaan sisälämpötila pysyy alhaisena. Tästä huolimatta mittaustuloksista löytyi arvo, joka nousi jopa yli 60 °C. Havainto on merkittävä, sillä kuitukytkimet ovat mitoitettu maksimissaan 50 °C lämpötiloihin.

Kuvassa 18 näkyy, miten korkealle hetkellinen lämpötila on noussut kytkimen pinnassa, joka on sijoitettu kojeiston 02GX4 (vasen) sisälle. Myös kytkimen 02X10 (oikea) lämpötilamittaus oli muuttanut väriä lähes 50 °C rajaan asti (Kuva 18.).



Kuva 18. Thermax-lämpötilamittaukset kojeistoista 02GX4 ja 02X1.

Huomionarvoista on, että mitattu piste 02GX4 sijaitsee 20GX3-kytkimen kanssa samassa testaustilassa, konvertterilaboratoriossa. Alkuperäisen Phoenix Contactin -kuitukytkimen tilalle oli vaihdettu jossain vaiheessa varaosa, mistä ei löytynyt mitään mainintaa dokumentoinnin osalta. On syytä olettaa, että lämpö on aiheuttanut ongelmia kuitukytkimille jo aikaisemmin.

5 PARANNUSEHDOTUKSET JA TOIMENPITEET VERKOLLE

Valokuituverkon läpikäyminen nosti esille muutamia ongelmakohtia, joihin olisi hyvä tehdä toimenpiteitä. Osa testausalueen väliaikaisista mittalaitteasennuksista ja kaapelivedoista oli jäänyt käyttöön suunniteltua pidemmäksi ajaksi. Tämän vuoksi kaapelit ovat jääneet esille ja niitä on uudelleenkytketty lukuisia kertoja.

Seuraavissa kappaleissa esitellään suositeltuja toimenpiteitä kuituverkolle.

5.1 Kuitukytkinten uusiminen

Alkuperäiset kuitukytkimet verkossa ovat vuodelta 2011. Kuitukytkimet ovat alkuperäisissä asennuspaikoissaan kojeistokaappien sisällä. Vikalokia taaksepäin selaimella näkyy, että testauksen tietoliikenneverkon ongelmat alkoivat noin 10 v kytkinten asennuksen jälkeen.

Uuden korvaavan kytkimen vaihtaminen hajonneen osan tilalle ei ole tuonut pitkäaikaista stabiiliutta verkkoon. Hyvin pian myös verkon toiset kytkimet ovat alkaneet oireilemaan samaoilla tavoilla.

Tehdasympäristö on laitteille hyvin kuormittava ympäristö yhtäjaksoisen käytön ja lämpötilojen takia. Edellä mainittujen seikkojen perusteella on syytä pohtia, onko kytkinten suunniteltu käyttöikä tullut nykyisellä käytöllä tiensä päähän.

Osiossa 5.3.1 esiteltiin kuitukytkinten lämpötilamittaus, jonka taulukoiduista tuloksista nähdään, että osa mitatuista kytkimistä käy suositusarvoa kuumempina. Mittatulos antaa syytä olettaa, että kesäaikana, jolloin tehtaassa sisälämpötila on pitkäksi yli 35 °C, kytkinten lämpötila nousee vielä korkeammaksi.

Kuumimmat mittapisteen mitattiin konvertterilaboratoriossa sijaitsevan kojeiston 02GX4 sekä kojeiston 02X1 sisällä. Näihin kojeistoihin olisi hyvä investoida kytkimet, jotka kestävät kovempia lämpötiloja. Tämän lisäksi olisi asianmukaista huolehtia I/O-laitetilan tuuletuksesta, jolloin lämpötila ei pääsisi nousemaan liian korkeaksi.

5.2 Verkon uudelleenrakennus

Tehdasautomaatioverkko on iäkäs ja siihen on tehty lukuisia muutostöitä ilman tarpeeksi kattavaa dokumentaatiota. Syvempi tutkimus ja perehtyminen verkon tilaan paljasti merkkeamattomia kuituja ja vaurioituneita liittimiä.

Väliaikaisesti asennetut valokuidut olivat joissain tapauksissa asennettu huolimattomasti ja reititetty kulkureittien kohdalta kaapelikouruihin. Huolimaton reititys on altistanut kuidut mekaanisille vaurioille kulkureittien läheisyydessä. Tämä havainto koski erityisesti tilapäisten testauspaikkojen kuituyhteyksiä.

Mikäli tehtaassa automaatioverkko haluttaisiin saada täysin ajan tasalle ja dokumentoitua huolellisesti kaikin puolin, uuden verkon rakennus olisi hyvä ottaa keskusteluun mukaan.

Uuden automaatioverkon kustannus nousee nopeasti useisiin kymmeneen tuhansiin euroihin pelkkien osien ja uusien kuitujen kanssa. Uuden verkon rakennuksen yhteydessä tulee todennäköisesti ilmi lukuisia uusia ongelmia, jotka viivästyttävät työn valmistumista. Koska tehtaalle ei ole suunniteltu lähitulevaisuudessa tarpeeksi pitkää huoltotaukoa, uuden verkon rakennus on epärealistinen vaihtoehto.

Vaihtoehdon mielekkyys ja kustannustehokkuus nousee esille, mikäli vikatilanteet saadaan korjattua kohdistetuilla toimenpiteillä.

5.3 Alkuperäisten kuitujen tarkastus

Vanhoja SC-liittimiä on irrotettu ja liitetty takaisin lukuisia kertoja eri syistä. Kun kyse on valokuituverkon toimintaa eniten haittaavista tekijöistä, suurin syy on ylivoimaisesti liitinten päihin joutuvat epäpuhtaudet. Hyvin pieni epäpuhtaus saattaa estää valosignaalin liikkumisen liittimestä eteenpäin, jolloin verkko pahimmassa tapauksessa halvaantuu.

Valokaapelien päiden SC-liittimet tulisi puhdistaa asianmukaisella työkalulla kuten puhdistuskynällä tai puhdistuskasetilla. Toimenpidettä varten olisi hyvä kouluttaa henkilöstöä tekemään kuituverkon ylläpitohuoltoa.

Huolellisen puhdistuksen jälkeen kuidut olisi hyvä mitata esimerkiksi VIAVI P5000i tehomittaparilla. Tehomittaparin tulosten perusteella verkosta voidaan vaihtaa kaikista huonoimmat ja kuluneimmat valokaapelit pois.

Toinen kuituverkon kuntoa mittaava työkalu on OTDR-tutka. Valokuituverkon tutkauksella saataisiin yleisnäkemys pahimmista vaimennuskohdista ja huonoimmista kuiduista. Sopiva mittalaite tähän on esimerkiksi VIAVI MTS-2000.

Yksinkertaisin ratkaisu kuitujen tarkastukseen on investoida mittaus ja tulosten analyysi ulkopuoliselta palveluntarjoajalta yhtenä kokonaisena palveluna.

6 JÄLKISEURANTA

Kuituverkon stabiiliutta voidaan parantaa monella tavalla. Edellisessä kappaleessa esitellyt vaihtoehdot tarjoavat ratkaisuja joihinkin ongelmiin. Kaikkien ilmenneiden ongelmien juurisyyt eivät selvinneet laajasta selvitystyöstä huolimatta.

Edellisessä kappaleessa esiteltyjen toimenpiteiden tarkoituksenmukaisuus ja sopivan lähestymistavan valinta jää työnantajan edustajan päätettäväksi.

Valitun toimenpiteen suorittamisen jälkeen olisi hyvä seurata kuituverkon yleistä toimintaa laajasti. Lisäksi olisi hyvä seurata, poistuvatko alkuperäiset viat vai siirtyivätkö viat toiseen paikkaan. Tarkastelujakson jälkeen olisi tarkoituksenmukaista käydä saadut havainnot ja tulokset läpi. Tulosten ja havaintojen perusteella voidaan tehdä yksityiskohtaisempia jatkotoimenpiteitä verkkoon.

LÄHTEET

The Switch. Yritysesittely. Viitattu 22.9.2021.
<https://theswitch.com/>

Inkinen, P., Manninen, R. & Tuohi, J. 2006. Momentti 2, Insinöörifysiikka.
Keruu. Otava.










Lehto, H., Havukainen, R., Maalampi, J. & Leskinen, J. 2012. Fysiikka 3, Aallot.
Helsinki. Sanoma Pro Oy.

Mustakangas, R. 2001. Helkama valokaapelit tele- ja tietoverkoissa: Flash Cord
2001. Hanko. Helkama.

Koivisto, P., Marttila, S. 2015. Nestor Cables FTTX Optiset liityntäverkot. Oulu.
Nestor Cables Oy.

O'Connor, J, J. Robertson, E, F. Willebrord van Royen Snell. 2010.

Taulukko 2. Kuitukytöiden lämpötilamittaustulokset

02GX1	Liuskassa ei näkyviä lämpötilamuutoksia.	
02GX2-1	Liuskassa ei näkyviä lämpötilamuutoksia.	
02GX2-2	Liuskassa näkyvä muutos 43 °C asteikolle.	
02GX4	Konvertterilaboratorion kojeistossa. Liuskassa näkyviä muutoksia jopa 60 °C asti. Ympäristön lämpötila mitattu kalibroidulla mittalaitteella n. 20 °C.	
02X1	Liuskassa ei näkyviä lämpötilamuutoksia.	
02X2	Liuskassa muutos n. 45 °C kohdalle.	
02X10	Liuskassa selvä muutos 45 °C kohdalle.	
PK2	Ei muutoksia.	
PK4	Ei muutoksia.	
PK5	Liuskassa ei muutoksia.	