

Henri Lundberg

# Teollisuuslaitoksen nousukaapeloinnin tarkastus ja dokumentointi

Opinnäytetyö

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikka

2023



**Kaakkois-Suomen  
ammattikorkeakoulu**

Tutkintonimike	Tekniikan ammattikorkeakoulututkinto, Insinööri (AMK)
Tekijä/Tekijät	Henri Lundberg
Työn nimi	Teollisuuslaitoksen nousukaapeloinnin tarkastus ja dokumentointi
Toimeksiantaja	Ansioniemen Sähkö Oy
Vuosi	2023
Sivut	52 sivua, liitteitä 2 sivua
Työn ohjaaja(t)	Tuntiopettaja Risto Kuitunen

## TIIVISTELMÄ

Tässä opinnäytetyössä selvitettiin teollisuusverkon ylikuormitusriskit ja selektiivisyyden toiminta. Tarkastelun kohteena olivat sulakekoot, kaapelityypit, keskukset, muuntajat, mitatut virrat, oikosulkuvirrat, kaapelireitit sekä palo-osastot ja -katkot. Nämä tiedot dokumentoitiin tasopiirustukseen, nousujohtokaavioon ja taulukoihin. Ylikuormitusriskien kartoittamisen tavoitteena on komponenttien ylikuormituksen ehkäiseminen, jolloin ne kestävät keskimääräisen pitoaikavälin verran ja ovat standardien tai valmistajien suositusten mukaisia. Selektiivisyyden tavoitteena on sulakkeen lauetessa rajata vika-alue pieneksi, jolloin mahdollisimman suuri osa tuotannosta pysyy käynnissä. Dokumentoinnin tavoitteena on ensisijaisesti täyttää standardin vaatimus, mutta ajan tasalla oleva dokumentointi helpottaa huoltoa, kunnossapitoa ja lisäasennusten tekoa.

Tutkimusongelmana oli kaapeleiden kuormitettavuuden laskemisen korjauskertoimet, sillä tehdashalleissa kaapeleiden pinnalle on kerääntynyt likaa ja pölyä, joka heikentää kuormitettavuutta. Lisäksi maassa olevien kaapeleiden etäisyyttä toisiinsa ei voi tarkastaa jälkikäteen, jolle on omat korjauskertoimet. Toisena olivat alakeskuksille lähtevien kaapeleiden ryhmänumeroita ei voitu tarkastaa ilman virran katkaisua keskuksesta.

Dokumentointi tehtiin Cadmatic-ohjelmalla. Mittausta vaativat työt mitattiin niille tarkoitetuilla mittareilla. Oikosulkuvirta mitattiin HT COMBI 420-mittarilla ja virrat mitattiin FLUKE A3001 FC-mittarilla. Ylikuormitusriskit analysoitiin SFS-standardin, D1-2017:n tai kaapelinvalmistajan taulukoiden mukaan. Muut huomiot ja epäkohdat tarkastettiin jalkatyönä tehdasalueella ja kirjattiin ylös.

Työn tuloksena ylikuormitusriskejä oli useammassa ryhmässä, ja selektiivisyys ei ollut kunnossa yhdessä ryhmässä. Huomiot ja epäkohdat esiteltiin ja korjaavat toimenpiteet kerrottiin. Dokumentteihin tehtiin muutokset ja lisäykset. Lopuksi käytiin läpi tulevaisuuden investointeja nykyiselle teollisuusverkolle.

Johtopäätöksenä ymmärretään dokumentoinnin tärkeys ja työturvallisuuden sekä hyvän asennustavan noudattaminen.

**Asiasanat:** cadmatic, dokumentointi, nousujohtokaavio, selektiivisyys, tasopiirustus, teollisuus, ylikuormitusriski

Degree title	Bachelor of Engineering
Author (authors)	Henri Lundberg
Thesis title	Inspection and documentation of overhead cabling in an industrial plant
Commissioned by	Ansioniemen Sähkö Oy
Time	2023
Pages	52 pages, 2 pages of appendices
Supervisor	Class teacher Risto Kuitunen

## ABSTRACT

In this thesis, the risks of overloading and the operation of selectivity in the industrial network were studied. Fuse sizes, cable types, exchanges, transformers, measured currents, short-circuit currents, cable routes and fire compartments and outages were examined. This information was documented in an electrical drawing, riser diagram and tables. The objective of overload risk mapping is to prevent overloading of components so that they last for an average-to-average service life and comply with standards or manufacturers' recommendations. The aim of selectivity is to limit the fault area when the fuse trips, so that as much of the production as possible remains operational. The primary objective of documentation is to meet the standard, but up-to-date documentation facilitates servicing, maintenance, and additional installations.

The research problem was the correction factors for calculating the load capacity of the cables, since in factory buildings dirt and dust have accumulated on the surface of the cables, which reduces the load capacity. In addition, the distance between cables in the ground cannot be checked afterwards, for which there are specific correction factors. Secondly, the group numbers of the cables going out to the sub-centres could not be checked without disconnecting the power from the centre.

The documentation was done with Cadmatic software. Work requiring measurement was measured with the appropriate gauges. The short-circuit current was measured with a HT COMBI 420 meter and the currents were measured with a FLUKE A3001 FC meter. Overload risks were analysed according to the SFS standard, D1-2017 or the cable manufacturer's tables. Other observations and anomalies were checked on foot at the factory site and recorded.

As a result of this work, overloading risks were found in several groups, and selectivity was not good in one group. Observations and shortcomings were presented, and corrective actions were reported. Changes and additions were made to the documents. Finally, future investments for the current industrial network were discussed.

The conclusion is to understand the importance of documentation, safety at work and good installation practice.

**Keywords:** cadmatic, documentation, riser diagram, selectivity, electrical drawing, industry, overload risk

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	7
2	OPINNÄYTETYÖN TAVOITE .....	8
2.1	Opinnäytetyön tausta .....	8
2.2	Tutkimusongelmat.....	8
2.3	Työn rajaus .....	8
2.4	Työn vaiheet ja opinnäytetyön rakenne.....	9
2.5	Tekopaikka.....	10
2.6	Toimeksiantajayritys.....	10
3	CADMATIC ELECTRICAL .....	11
3.1	Komennot ja toiminnot.....	11
3.2	Sovellukset ja tietokannat.....	12
3.2.1	Distribution Board.....	12
3.2.2	Cabinet Layout .....	12
3.2.3	Electrical DB.....	13
3.2.4	Layout.....	13
3.2.5	Schematics.....	13
3.3	Projektipuu .....	13
3.4	Suunnittelun tueksi.....	14
4	TEOLLISUUDEN DOKUMENTOINTI.....	15
4.1	Dokumentointiperiaatteet .....	16
4.2	Dokumentoinnin informaation esittäminen .....	17
4.3	Piirrosmerkit .....	19
4.4	Teknisten tietojen esittäminen.....	19
4.5	Dokumentin sisältö.....	19
4.5.1	Pääjohtokaavio.....	20
4.5.2	Tasopiirustukset tai vastaavat .....	20
4.5.3	Laitteiston oikosulku- ja vikavirtasuojaukseen tarvittavat tiedot...20	

4.5.4	Palo-osastointia koskevat tiedot .....	21
5	NOUSUKAAPELOINNIN MITOITUS JA SUOJAUS SEKÄ MUUNTAJAT JA KESKUKSET .....	22
5.1	Kaapelin kuormitettavuus ja ylikuormitusriskit .....	25
5.1.1	Kaapeleiden ylikuormitusriskit .....	26
5.2	Oikosulkusuojaus .....	27
5.2.1	Oikosulkuvirran sähkömagneettinen vaikutus .....	27
5.2.2	Oikosulkuvirran terminen vaikutus.....	28
5.3	Selektiivisyys.....	28
5.4	Kaapelin käyttöikä .....	28
5.5	Kaapelin mekaaninen suojaus ja reitit .....	29
5.6	Palo-osastot ja -katkot.....	29
5.7	Muuntaja .....	29
5.7.1	Öljyeristeiset muuntajat .....	30
5.7.2	Kuivamuuntajat.....	30
5.7.3	Muuntajan käyttöikä .....	30
5.7.4	Muuntajan ylikuormitusriskit .....	30
5.8	Teollisuuskeskukset .....	31
5.8.1	Kennokeskus.....	31
5.8.2	Kotelokeskus .....	32
5.8.3	Kaappikeskus.....	32
6	TEOLLISUUSKOHTTEEN KAAPELEIDEN, KESKUSTEN JA MUUNTAJAN TARKASTUS JA DOKUMENTOINTI.....	33
6.1	Kaapeleiden kartoitus ja dokumentointi.....	33
6.1.1	Kaapeleiden kartoituksen havainnot.....	34
6.2	Keskusten kartoitus ja dokumentointi .....	34
6.2.1	Keskusten merkintöjen tarkastus.....	34
6.2.2	Keskusten siisteys.....	34
6.2.3	Keskusten sijainti.....	35

6.2.4	Keskusten turvallisuus.....	35
6.3	Oikosulkusuojaus .....	35
6.3.1	Mitatut oikosulkuvirrat.....	36
6.4	Selektiivisyys.....	37
6.5	Kaapelin reitit, mekaaninen suojaus ja ikä .....	37
6.6	Palo-osastot ja -katkot.....	38
6.7	Muuntajan tarkastus ja dokumentointi .....	38
6.7.1	Case muuntaja 2 .....	39
6.8	Mitatut virrat .....	40
6.9	Ylikuormitusriskit .....	41
6.9.1	Ryhmien ylikuormitusriskit .....	41
6.9.2	Alakeskusten ylikuormitusriskit.....	43
7	TULEVAISUUDEN INVESTOINNIT .....	44
7.1.1	Muuntaja 2 vaihto .....	44
7.1.2	Hallin 3 ja 4 kaapeleiden elinkaarikustannukset .....	45
7.1.3	Kolmannen muuntajan lisääminen .....	46
8	POHDINTA.....	47
	LÄHTEET .....	49
	KUVALUETTELO	
	TAULUKKOLUETTELO	
	LIITTEET	
	LIITE 1. AMCMK voimakaapeliin kuormitettavuus ja terminen oikosulkukestoisuus (Draka)	
	LIITE 2. Teollisuusalue	

## 1 JOHDANTO

Sähköasennusstandardit vaativat sähköasennuksista dokumentteja, jotka ovat standardien mukaan laadittuja kaavioita, piirustuksia ja taulukoita. Piirustuksista tulee selvittää virtapiirien laji ja rakenne sekä suoja-, kytkin- ja erotuslaitteiden ominaisuudet siten, että ne ovat tunnistettavissa kentällä. Lisäksi johtimista ja suojalaitteista pitää näkyä lajit ja tyypit. Näistä dokumentoiduista tiedoista käytönjohtaja pystyy analysoimaan ja varmistamaan yhteensopivuuden ja suojalaitteiden oikein toimimisen. Uusissa rakennuksissa, suurissa laajennuksissa tai saneerauksissa sähköurakoitsijalla on insentiivi tehdä dokumentointi, koska urakkahinta maksetaan yleensä erissä valmistumisasteen mukaan. Pienien laajennusten tai vikakeikkojen jälkeen asennusten muutokset jäävät valitettavan usein tekemättä, eikä laitteiston haltija syystä tai toisesta vaadi dokumentteja muutoksista. Ajan kuluessa dokumentit ja kohteessa oleva todellisuus erkanevat toisistaan niin paljon, että se alkaa muodostua haastavaksi toteuttaa asennuksia, huoltoa ja kunnossapitoa. Puutteellinen dokumentointi on erittäin haitallista vikatilanteissa, jolloin tuotanto saattaa pysähtyä osittain tai kokonaan. Tuotannon pysähtyminen voi aiheuttaa jopa 10 000 euron menetyksen tunnissa. Näiden syiden takia dokumentointi on syytä tehdä ajallaan, jolloin sähköllä toimivien laitteiden käyttö ja huolto helpottuu.

Tässä opinnäytetyössä tarkastetaan teollisuuslaitoksen nousujohtokaavio sekä sulakkeet ja dokumentoidaan ne. Lisäksi kaapelireiteistä, muuntajista ja ryhmäkeskuksista tehdään havaintoja ja tuodaan epäkohtia esiin. Tarkastuksen pohjalta selvitetään selektiivisyyden toiminta ja mahdolliset ylikuormitusriskit tai vastaavasti liian suurien sulakkeiden pienentäminen tarvittavaan virtaan nähden. Myöhemmin lisätyt ryhmäkeskukset dokumentoidaan sähkönjakelu kuvaan, jotta niiden sijainti tiedetään. Nousujohtokaavio, sähkönjakelu kuva ja aluekaapelointikuva tehdään Cadmatic-ohjelmistolla. Tuloksena saadaan käytönjohdon ja kunnossapidon tueksi toimiva teollisuusverkko ja ajantaisaiset dokumentit.

## **2 OPINNÄYTETYÖN TAVOITE**

Työn tavoitteena on päivittää nousukaavion ajan tasalle sekä varmistua selektiivisyyden toimimisesta. Nousukaavio, sähkönjakelukuva ja aluekaapelointikuva päivitetään Cadmatic-ohjelmistolla. Kunnossapidon tueksi tuodaan epäkohtia esiin kaapelireiteistä, muuntajista ja ryhmäkeskuksista. Yli-kuormariskeistä tehdään analyysi. Lisäksi työn tavoitteena on helpottaa käytönjohtajan ja sähköasentajan työntekoa.

### **2.1 Opinnäytetyön tausta**

Toimeksiantajayritys Ansioniemen Sähkö Oy ehdotti opinnäytetyön tekemistä heille. Pääsin vaikuttamaan työn aiheeseen ja valitsin teollisuuden kunnossapidon. Teollisuuden kunnossapidon työaiheita olisi ollut useampi, mutta tämä aihe oli toimeksiantaja- sekä asiakasyritykselle eniten hyödyksi. Toimeksiantaja yritys hyödyntää työn tuloksia, jolla pystytään takaamaan asiakasyrityksen toimiva ja häiriötön tuotanto. Lisäksi täytyy varmistua siitä, että standardien vaatimukset täyttyvät. Kohteesta on olemassa joitakin sähkökuvia, mutta enemmän on tehty sähköasennuksia ja dokumentointi on jäänyt vähemmälle.

Nousujohtokaavion, kaapeleiden sekä sulakkeiden tarkastaminen ja dokumentointi lisättynä selektiivisyyden toiminnasta auttaa toimeksiantaja yritystä kunnossapidossa mahdollisen vikatilanteen sattuessa siten, että sähköasentaja voi rajata vika-alueen mahdollisimman pieneksi. Asiakasyrityksen tuotannossa tämä näkyy tuotannon pienempänä menetyksenä.

### **2.2 Tutkimusongelmat**

Teoreettisella tasolla on pohdittava kaapeleiden kuormitettavuuslaskujen korjauskerrointa, sillä ajan kuluessa kaapeleiden pinnalle on kertynyt pölyä tai muuta likaa, joka on otettava huomioon alentuneena korjauskertoimena.

### **2.3 Työn rajaus**

Opinnäytetyö rajattiin koskemaan nousukaapeleiden ja sulakkeiden tarkastamista ja dokumentointia. Näiden lisäksi työssä selvitetään selektiivisyyden toiminta ja ylikuormariskit. Työssä tuodaan esiin epäkohtia teollisuuslaitoksen



kaapelireiteistä, ryhmäkeskuksista ja muuntajista. Päivitettäviin kuviin lukeutuu nousujohtokaavio, sähkönjakelukaavio ja aluekaapelointi. Aluekaapelointikuva rajattiin autonlämmityspistorasioihin, ulkovalaistukseen ja toiselle muuntajalle menevään kaapeliin.

## **2.4 Työn vaiheet ja opinnäytetyön rakenne**

Aluksi tehdasalueesta kerättiin tietoa sekä kerättiin olemassa olevia ja työn kannalta olennaisia dokumentteja. Kohteessa ensimmäisenä etsittiin dokumentoimattomat jakokeskukset, jolloin pystyttiin samalla katsomaan tarvittavat tiedot. Muuntajat tarkistettiin ja piirrettiin tasokuvaan. Virrat pystyi mittaamaan kätevästi sähköpääkeskuksilta ja samalla tarkistamaan kaapelityypit. Näiden ohessa tarkasteltiin asennustapaa ja kaapelireittejä. Lopuksi havaitut muutokset dokumentoitiin ja pohdittiin tulevia investointeja.

Opinnäytetyön johdannon jälkeen pureudutaan yksityiskohtaisemmin työhön, tavoitteisiin, taustaan ja toimeksiantajayritykseen. Teoriaosiossa käydään perusasioita läpi Cadmatic-ohjelmasta, kuten komennot, toiminnot ja sovellukset. Dokumentointiosiossa kerrotaan periaatteista, tietojen esittämisestä ja merkeistä. Viidennessä luvussa kerrotaan tämän työn keskeisistä käsitteistä, kuten teollisuusverkosta, ylikuormitusriskeistä, selektiivisyydestä, muuntajista ja keskuksista.

Tutkimusosuudessa mitattuja tuloksia sekä tehtyjä havaintoja teollisuusalueelta verrataan SFS-standardin, D1-2017 käsikirjan ja kaapelinvalmistajan määritelmiin ja raja-arvoihin.

Tämä työ on produktiivinen opinnäytetyö, jonka tuloksena saatiin ajan tasalla olevat piirustusdokumentit sekä kartoitettua selektiivisyys ja ylikuormariskit. Olemassa oleviin asennuksiin kerrottiin korjausehdotukset ja jatkotoimenpiteet. Lisäksi tehdasalueelle esitettiin tulevaisuuden investointeja.

## 2.5 Tekopaikka

Tarkastukset tehtiin teollisuusalueella, jossa täytyi pitää huolta työturvallisuuden toteutumisesta. Tuotannon ollessa käynnissä saatiin todellinen virrankulutus mitattua. Dokumentointi tapahtui toimeksiantajan tiloissa Cadmatic-ohjelmistolla.

## 2.6 Toimeksiantajayritys

Juhani Talikka perusti Ansioniemen Sähkö Oy:n 23.8.1993, ja yritys merkittiin kaupparekisteriin vuoden 1994 alussa [1].

Toimeksiantaja yritys Ansioniemen Sähkö Oy toimii sähkö-, tele- ja turvajärjestelmien urakoinnissa ja suunnittelussa. Lisäksi lämpöpumput sekä niiden asennus ja huolto kuuluvat yrityksen toimintaan.

Ansioniemi Groupin toimialue kattaa koko Suomen, mutta pääasiallisesti palvelemme Itä-Hämeen ja eteläisen Keski-Suomen alueella. Toimipisteet sijaitsevat Lahdessa, Joutsassa ja Hartolassa. [1.]

12/2021 päättyneellä tilikaudella yhtiöllä oli 20 työntekijää. Yhtiön Ansioniemen Sähkö Oy liikevaihto oli 2,87 miljoonaa. [2.]

Ansioniemen Sähkö Oy:n markkina-asema on vahva Itä-Hämeen alueella. Sen asiakkaita ovat yksityishenkilöt, kunnat, yritykset, teollisuus ja maatalous.

### 3 CADMATIC ELECTRICAL

Cadmatic on laaja ohjelma, jonka vuoksi esittelen tässä luvussa sovellukset ja perustoiminnot. Ohjelma helpottaa niin suunnittelua kuin asennustyötä, koska sähkökuvan merkintöjä ja komponentteja pystytään lisäämään, poistamaan ja muokkaamaan. Suunnittelijan tehtyä muokkaukset ohjelmistolla kuva tulostetaan, jolloin saadaan ajantasaiset kuvat. Kuvien muokkauksia saatetaan tehdä useampia kertoja työmaan edetessä, kuten kuvat tarjouslaskentaa varten sekä työ-, loppu- ja luovutuspiirustukset. Seuraavaksi tarkemmat kuvaukset ohjelman komennoista ja toiminnoista.

#### 3.1 Komennot ja toiminnot

Ohjelma koostuu joukosta komentoja, jotka on jaoteltu ryhmiin merkityksensä mukaan. Ryhmät ovat seuraavat [3]:

- Piirtokomennot. Luodaan kuvaan elementtejä.
- Asetuskomennot. Asetetaan esim. käytettävä väri, rasteripisteytys, viivatyypit jne.
- Tekstiin liittyvät toiminnot. Luodaan tekstiä ja asetetaan niihin liittyviä parametreja.
- Symbolitoiminnot. Luodaan symboleja eli elementeistä koostuvia kokonaisuuksia ja haetaan niitä kuvaan.
- Muokkaukset. Muokataan kuvaa eli poistetaan, siirretään, monistetaan, peilataan ja räjäytetään elementtejä sekä muutetaan niiden ominaisuuksia.
- Tasotoiminnot. Käsitellään kuvatasoja, eli luodaan, sytytetään, sammutetaan, lukitaan tai vapautetaan niitä. Lisäksi voidaan kopioida tai siirtää elementtejä tasolta toiselle.
- Kuva-alueeseen liittyvät toiminnot. Siirrytään tarkastelemaan haluttua kuvan kohtaa, tallennetaan kuvan kohtia (näkyviä) myöhempää käyttöä varten jne.
- Kuvan tallennus, haku, tulostus ja ohjelman lopettaminen.
- Valikkojen käsittely. Muokataan valikoita, ladataan ja tallennetaan niitä.
- Attribuutit. Luodaan kuvaan attribuuttimääryityksiä eli alfanumeerisen tiedon tallennuspaikkoja, joita voidaan sisällyttää symboleihin.
- Aputoiminnot. Sisältää komentoja, jotka eivät suoraan liity mihinkään edellä esitettyihin ryhmiin.

Ohjelma sisältää valmiiden komentojen lisäksi monipuoliset mahdollisuudet luoda uusia toimintoja. Tähän tarkoitukseen on tarjolla seuraavanlaisia työkaluja [3]:

- Komentojonot. Komentojonoilla ymmärretään ohjelman komentojen ja niihin liittyvien syötteiden jonottamista. Valikoiden toiminnot määritellään komentojonojen avulla.
- Makrot. Makrot ovat tekstitiedostoja, jotka sisältävät komentojonoja. Makro aktivoidaan sen nimen perusteella.
- K-ohjelmointikieli (erillinen opas) on ohjelman oma sisäinen ohjelmointikieli. Se sisältää normaalin ohjelmointikielen sisältämien ominaisuuksien lisäksi mm. mahdollisuuden käsitellä kuvatiedostoa ja järjestelmämuuttujia sekä käyttää komentoja. K-ohjelmointikielen opas toimitetaan pyynnöstä.

Lisäksi voidaan muokata/luoda merkkilajeja, viivoituskuvioita ja viivatyyppejä [3].

## **3.2 Sovellukset ja tietokannat**

Cadmatic electricalin sovellukset on jaettu viiteen osaan. Nämä ovat "Distribution Board", "Cabinet Layout", "Electrical DB", "Layout" ja "Schematics". Jokaisessa sovelluksessa on perusasetukset ja komponentit, jotka sopivat parhaiten kyseisen työn suorittamiseen. Seuraavaksi tarkemmat kuvaukset sovelluksista.

### **3.2.1 Distribution Board**

Distribution Board -sovellusta käytetään keskusten pääkaavioiden sekä niiden kansilehtien esittämiseen. Sovelluksella voidaan luoda samaan tiedostoon yhden keskuksen kaikki "ruotokuvat" ja kansilehti, koska sovellus sivuttaa eri lehdet automaattisesti myös sovelluksen aikana. [3.]

### **3.2.2 Cabinet Layout**

Cabinet Layout -sovellusta käytetään keskusten valmistamiseen liittyvien dokumenttien tekemiseen. Sovelluksella tehdään keskuksien ns. "naamakuvia", joiden komponenteille voidaan määritellä tyyppitiedot. Näistä tyyppitiedoista voidaan tehdä myös erilaisia raportteja, esim. osaluettelo. Osaluettelo voidaan tehdä kuvaan, tai voidaan käyttää Electrical DB -tietokantaliityntää. [3.]

### 3.2.3 Electrical DB

Electrical DB -työkalu toimii tietokantaan liittyvien toimintojen hermokeskukseksi. Toiminnon kautta hallitaan niin projektin tiedot, kun yleiset laite- ja kaapelitietokannat. DB-työkalu koostuu projektipuusta, projektin tiedoista ja tietokantatoiminnoista. [3.]

### 3.2.4 Layout

Layout-sovelluksen käyttöalue on rakennusten sähkötasopiirustukset, niihin liittyvät vahvavirta- ja heikkovirtajärjestelmät, johtotiet, järjestelmäkohtaiset aksometriset kuvat, jne. Tietokantaliittynän avulla voidaan tehdä myös erilaisia raportteja ja liityntöjä muihin dokumenttiryhmiin mm. keskuskaavioihin. Layout-sovelluksella voidaan laskea myös kappale- ja metrimääräisesti materiaaleja, tehdä sähköteknisiä laskelmia jne. [3.]

### 3.2.5 Schematics

Schematics-sovellusta käytetään piiri- ja johdotuskaavioiden tekemiseen. Piiri- ja johdotuskaavioiden tekemisessä on huomioitava tiettyjä perusasioita, jotta työskentely olisi joustavaa ja tehokasta. Schematicsin eri lehdet sijaitsevat samassa kuvatiedostossa eri tasoilla, jolloin yhden asiakokonaisuuden käsittely on helpompaa. [3.]

## 3.3 Projektipuu

Ohjelman yksi hyödyllinen toiminto on projektipuu, josta nähdään tärkeitä tietoja sekä projektipuun välilehtiä voi vaihdella. Projektipuun tiedot voi määrittellä käyttäjä itse. Ominaisuudet-välilehti kannattaakin olla koko ajan näkyvässä, sillä työkuva käsitellessä ja jonkin tietyn alueen tai komponentin pystyy muokkaamaan. Seuraavaksi tarkemmat kuvaukset muutamasta projektipuusta.

Projektipuussa näkyvät aktiivisen kuvan sijainnit, keskuksset ja ryhmät, laitteet, kaapelit johtimineen sekä sisäiset johdotukset. Kun kuva on liitetty projektiin, näkyvät puussa koko projektin sijainnit, laitteet, kaapelit jne. Projektipuun avulla voidaan navigoida kuvan eri osien välillä ja muokata kuvan tietoja. [3]. Dokumentit-projektipuussa on nähtävissä ja hallittavissa kaikki projektiin liitetyt dokumentit. Puun avulla voidaan mm. siirtyä haluttuun dokumenttiin ja halutulle lehdelle. [3.]

Johdotukset-välilehdellä näkyvät kaikki projektin kaapelit ja johtimet kytkentöineen. Välilehdeltä löytyvät myös keskuksen sisäiset johtimet, johdinsarjojen johtimet, kiskot sekä määrittämättömät johtimet. [3.]

Kaapelityypit-välilehdellä on näkyvissä projektissa käytössä olevat kaapelityypit lajeittain jaoteltuna sekä niitä käytävien kaapelien lukumäärä ja kokonaispituus. Kaapelit ovat lueteltuna kaapelityyppien alla. [3.]

Keskuksset ja ryhmät -puussa on nähtävissä projektin keskuksset ja ryhmät hierarkisesti [3].

### **3.4 Suunnittelun tueksi**

Cadmatic on aihepiiriltään laaja ohjelma, josta voisi esittää monimutkaisia ja teknisiä esimerkkejä. Ongelmatilanteessa Cadmatic helpin lisäksi apua voi hakea cadsp planner-Youtube-kanavalta, joka on melko inaktiivinen, mutta muidenkin käyttäjien opasvideoita alustalta löytyy. Tämän osion tarkoituksena oli antaa tietoa perustoiminnoista. Hyväksi ohjelman käyttäjäksi tullaan kokemuksen kautta, jolloin tiedetään ohjelman erityispiirteet. Kokeneilla suunnittelijoilla onkin paljon hiljaista tietoa, joka helpottaa työntekoa merkittävästi.

#### 4 TEOLLISUUDEN DOKUMENTOINTI

Dokumentointi tarkoittaa suunnittelun ja toteuttamisen vaiheiden asiakirjojen tallentamista ja kirjallista kuvaamista [4, s. 112]. Aluksi työmaalla tehdään suunnitelmapiirustus, joka hyväksytetään tilaajalla. Tilaaja joko hyväksyy suunnitelman tai vaatii muutoksia siihen. Tarvittavien muutoksien jälkeen hyväksytty suunnitelma voidaan muuttaa tarjouslaskentaa varten laadituksi dokumentiksi. Urakoitsija tai useammat urakoitsijat tekevät halutessaan tarjouslaskenta dokumentin pohjalta massalaskennan, josta he tekevät tilaajalle tarjouksen hyväksi katsomallaan hinnalla ottaen huomioon komponenttien lisäksi työn osuuden. Kun urakoitsija on saatu valittua, tehdään joko suunnittelijan tai urakoitsijan toimesta työpiirustukset, joiden mukaan työtä aletaan suorittaa. Monesti suunnitelmia joudutaan työn edetessä muuttamaan olosuhteiden pakosta tai eri urakoitsijoiden keskinäisistä sovitteluiden syystä, jolloin nämä tarkistukset sähköurakoitsija merkitsee työpiirustuksiin suullisten ohjeiden tai neuvottelupäätöksen perusteella. Sähköurakoitsija ylläpitää tätä piirustussarjaa työmaalla, johon muutokset on merkitty punaisella kynällä, ja piirustukset ovat nähtävillä työmaatoimistossa sekä tarvittaessa pystytään esittelemään työmaakokouksien yhteydessä. Punakynäversioiden perusteella suunnittelija laatii lopullisia asennuksia vastaavat tarkepiirustukset eli loppupiirustus dokumentit. Urakoitsija tarkistaa laaditut piirustukset lopullisia asennuksia vastaaviksi sekä leimaa ja allekirjoittaa nämä loppupiirustukset sekä toimittaa ne tilaajalle. Yleensä loppupiirustukset toimitetaan kahtena sarjana seläkkeillä kansioituna ja kahtena kappaleena DVD-levyllä tai muistitikuilla, jolle on tallennettu pdf- ja dwg-muotoiset tiedostot. Lisäksi toimitetaan laitteiden käyttö- ja huolto-ohjeet, kaikki järjestelmäkohtaisten ohjeissa esitettyjen mittausten pöytäkirjat ja tarvittavat tiedot huoltokirjan täyttämiseksi. Kaikki tilaajalle luovutettavat dokumentit kerrotaan sähköasennusten rakennustapaselostuksessa. Muutoksia tai uusia asennuksia tehtäessä sähködokumenteista vastaava henkilö tekee muutokset, jolloin vikatilanteessa pystytään toimimaan nopeasti teollisuuden tuotantoa mahdollisimman vähän haittaavasti sekä nähdään kytkennöistä, kuinka suunnittelija on ajatellut jonkin piirin toimivan ja pystyy korjaamaan vian.

Edellä kuvattu prosessi kuvaa perinteistä työmaan kulkua dokumentoinnin osalta. Tässä opinnäytetyössä dokumentoinnin osalta keskityttiin päivittämään tehdyt asennukset asemakuvaan, nousujohtokaavioon ja tasopiirustukseen.

#### 4.1 Dokumentointiperiaatteet

IEC (International Electrotechnical Commission) on maailmanlaajuinen standardisoimisjärjestö, jonka muodostavat kaikki kansalliset sähkötekniiset komiteat (IEC National Committees). IEC:n tarkoituksena on edistää kansainvälistä yhteistyötä kaikissa sähkö- ja elektroniikka-alan standardointiin liittyvissä kysymyksissä. Tätä tarkoitusta varten IEC julkaisee muun toimintansa lisäksi kansainvälisiä standardeja, teknisiä spesifikaatioita, teknisiä raportteja, PAS-dokumentteja ja oppaita (joita jatkossa kutsutaan ”IEC:n julkaisuksi”). Näitä julkaisuja laativat tekniset komiteat, ja jokainen niiden käsittelemistä aiheista kiinnostunut kansallinen komitea voi osallistua työhön. Myös kansainväliset IEC:n kanssa yhteistyössä olevat viranomaiset ja erilaiset organisaatiot voivat osallistua näiden julkaisujen laatimiseen. IEC tekee tiivistä yhteistyötä ISON (International Organization for Standardization) kanssa näiden kahden organisaation välisen sopimuksen mukaisesti. [5, s. 17.]

IEC:n tekninen komitea IEC TC 3 ”Information structures, documentation and graphical symbols” on laatinut tekstin asiakirjaan 3/1189/FDIS, tulossa olevan standardin IEC 61082-1, kolmannen painoksen, joka lähetettiin IEC-CENELEC rinnakkaisäänestykseen. CENELEC hyväksyi asiakirjan standardiksi EN 61082-1:2015. [5, s. 16.]

Hyvä dokumentointi ja sen ajallaan pitäminen on iso osa toimivaa teollisuuden sähköjärjestelmää. Standardissa SFS-EN 61-082-1 on esitelty sähkötekniikan dokumenttien laatimiseen säännöt, jotka koskevat kaavioita, piirustuksia ja taulukoita. [6, s. 109.]

Tekninen dokumentaatio on keskeistä tärkeä tuotteen tai järjestelmän hahmotelulle, suunnittelulle, valmistukselle, asennukselle, käytölle, huoltamiselle ja purkamiselle. Dokumentissa olevan informaation esittämisen on oltava yksikäsitteinen ja sovelluttava tarkoituksenmukaiseen käyttöön. Tämä tarkoittaa, että sama informaatio saatetaan esittää eri dokumenteissa käyttäen samaa tai eri



dokumenttilajia (dokumenttityyppiä). Informaation on oltava kauttaaltaan yhtenäinen sen kaikissa esittämipaikoissa. [5, s. 24.]

Dokumentit ovat monen eri henkilön saatavilla, jolloin niitä lukee hyvinkin moni eri ihminen. Siksi teknisen dokumentaation tulisi olla mahdollisimman selkeää ja helppoa luettavaa. Käyttämällä standardoituja piirrosmerkkejä, jakamalla isot kokonaisuudet eri lehdille ja käyttämällä sivulta sivulle ohjaavaa merkinantoa tämä on mahdollista. [6, s. 109.]

Jokainen dokumentti on yksilöitävä ainakin yhdellä tunnisteella, jonka on oltava yksikäsitteinen annetussa asiayhteydessä. Koska dokumentti saatetaan yksilöidä yksikäsitteisesti useissa asiayhteyksissä, pätevä asiayhteys on selitettävä dokumentissa tai sitä tukevassa dokumentaatiossa. [5, s. 25.]

## **4.2 Dokumentoinnin informaation esittäminen**

Dokumentissa oleva tekstin suunnan on oltava vaakasuora tai pystysuora ja tarkoitettu luettavaksi alareunan suunnasta [5, s. 27].

Paperin koko määritetään A4-kokoisella arkilla, ja näitä arkkeja laitetaan tarvittaessa riviin ja jonoon niin monta, että saadaan haluttu alue mahtumaan paperille. Teollisuuden kohteissa tasokuvat ovat yleensä melko isoja, jotta kaikki informaatio saadaan näkymään selkeästi eikä tarvitse suurentaa mittakaavaa kohtuuttomasti. Muussa tapauksessa SFS-käsikirja 619:n [5, s. 27] mukaan kokoa A3 suositellaan, kun informaation esityksessä käytetään pääasiallisesti kuva- tai kaaviomuotoja.

Sivun tunnistamiseen keskusten pääkaaviossa, piirikaavioissa, maadoituskaavioissa ja toimintakaavioissa käytetään sivun alareunaa. Tasopiirustuksissa käytetään piirustus pohjaa eli nimiötä. Kuvassa 1 on esitetty senaatti kiinteistöjen nimiö, jota yleensä käytän. Cadmatic electrical sisältää kahdenlaista vakio-piirustus pohjaa, ja kohteen tiedot täytetään pohjiin manuaalisesti.

Kaupunginosa/kylä	Kortteli/hälsä	Tontti/nro	Viranomaisen merkintöjä	
Rakennustoimenpide UUDISRAKENNUS			Piirustuslaji SÄHKÖPIIRUSTUS	Juoks. nro
Rakennuskohteen nimi ja osoite			Piirustuksen sisältö	Mittakaava
Suunnittelutoimiston tiedot			Hallinn. kiint. (nro)	Hallinnollinen kiinteistö (nimi)
			Kiinteistö (nro)	Hankenumero ja nimi
			Rakennus (nro)	Rakennus (nimi)
Piirtäjä	Suunnittelija	Työnumero	Suunnitteluala ja piirustusnumero	Tiedostonimi Kuva1
Pvm 18.4.2023	Vastuullinen suunnittelija	Nimen selvitys ja koulutus	SÄH	Muutostunnus

Kuva 1. Senaatti kiinteistöjen piirustus pohja

### Nimiön tietokentät

1. Kaupunginosa/kylä on numero väliltä 001-999. Kortteli on numero väliltä 0000-9999, joka on asemakaava-alueilla tontin ja yleisen alueen ryhmänumero korttelin numero tai muun siihen verrattavan alueen numero. Tontti/nro. yksikkönumero on välillä 0000-9999, jonka antaa kiinteistörekisterin pitäjä. Asemakaava-alueella yksikkönumero on tonttijaoon mukaisen tontin numero tai muu numero.
2. Viranomaisen merkintöjä kenttä jätetään yleensä tyhjäksi.
3. Rakennustoimenpide, esim. uudisrakennus, peruskorjaus, laajennus ja käyttötarkoituksen muutos
4. Piirustuslajiin tulee sähköpiirustus
5. Piirustuksen juokseva nro. kenttä jää yleensä tyhjäksi
6. Rakennuskohteen osoite.
7. Piirustuksen sisältö esim. 1.rivi pohjapiirustus, 2.rivi sähköpisteet, 3.rivi halli 9, jos kohteessa on useampi rakennus
8. Piirustuksen mittakaava, esim. teollisuuden asemakuva 1:500
9. Suunnittelutoimiston yhteystiedot
10. Hallin. kiint. (nro), Hallinnollinen kiinteistö (nimi), Kiinteistö (nro), Hankenumero ja nimi, Rakennus (nro) sekä Rakennus (nimi) jätetään tyhjäksi
11. Piirtäjä kohtaan piirtäjän nimikirjaimet
12. Suunnittelija kohtaan suunnittelijan nimikirjaimet
13. Työnumero, työnumeron ilmoittavat sähköliikkeet tai sähkösuunnittelutoimistot tms., jotka harjoittavat liiketoimintaa ja tuottavat paljon piirustuksia
14. Suunnitteluala ja piirustusnumero esim. SÄH S22-001. Tunnuksessa S22 ilmoittaa pääpiirustuslajin eli kyseessä on tämän työn tapauksessa nousujohtokaavio. 001 on piirustuksen juokseva numero
15. Tiedostonimi, jolla dokumentti on tietokoneelle tallennettu
16. Muutostunnus on piirustuksen revisiomerkinä. Kun piirustusta muutetaan/päivitetään, revisiomerkinä muutetaan aakkosjärjestyksessä A, B, C, D jne.
17. Pvm.-kohtaan päivämäärä ja vastuullisen suunnittelijan nimikirjoitus, nimenselvitys sekä koulutus

### 4.3 Piirrosmerkit

Piirrosmerkkien on oltava standardin IEC 60617 mukaisia. Standardin IEC 60617 soveltamisalan ulkopuolisille kohteille tulisi huomioida standardin ISO 14617 piirrosmerkit. [5, s. 42.] Mikäli näitä ei voi käyttää, tulee piirrosmerkkien olla yksiselitteisiä. Cadmatic electrical-ohjelmassa piirrosmerkit ovat ST 13.51:n ja ST 13.52:n mukaisia. Ohjelmasta löytyy myös IEC-piirrosmerkkejä.

### 4.4 Teknisten tietojen esittäminen

Piirrosmerkillä kuvatun kohteen tekniset tiedot, mikäli ne esitetään, tulee niiden näkyä kyseisen piirrosmerkin vieressä. Ne on sijoitettava piirrosmerkin yläpuolelle, kun ne esitetään pääasiassa vaakasuorin liitin-/liitosviivoin tai piirrosmerkin vasemmalle puolelle, kun se esitetään pääasiassa pystysuorin liitin-/liitosviivoin. [5, s. 44.]

### 4.5 Dokumentin sisältö

Yleisesti sähköpiirustusten, kaavioiden sekä tuotteen käyttöohjeiden ja osaluetteloiden tekemisen tueksi on olemassa neljä kirjaa, joka soveltuu sähkö- ja automaatio suunnittelijoille, laitevalmistajille ja konsulteille. Kirjoihin on koottu hyödyllistä tietoa hyvästä suunnittelutavasta ja esitetty esimerkkejä kuvineen. Näissä kirjoissa on keskeisimmät suunnittelua tukevat standardijärjestöjen laatimat julkaisut. Nämä kirjat ovat SFS-käsikirja 616 Viitetunnusjärjestelmä ja sovellukset, SFS-käsikirja 617 Sähkökaavioissa käytettävät piirrosmerkit, SFS-käsikirja 618 Dokumentaation jäsentely, dokumenttien luokittelu ja hallinta sekä SFS-käsikirja 619 Sähköpiirustukset, käyttöohjeet ja osaluettelot.

Sähköasennuksista täytyy olla käyttöpiirustuksia ja muita dokumentteja, joita ovat pääjohtokaavio, keskuskaaviot, maadoituskaavio, piirikaaviot, Valmistajan tai toteuttajan antamat asennus-, käyttö- ja huolto-ohjeet, toimintakuvaukset ja -selostukset, tasopiirustukset, kohteen käyttöönotto- ja mahdolliset varmennus- sekä määräaikaistarkastuspöytäkirjat ja lisädokumentit erityislaitteistoista. Lisäksi muita sähkölaitteiden käytössä tarvittavia tietoja ovat laitteiston oikosulku- ja vikavirtasuojauksen tiedot ja palo-osastointia koskevat tiedot.

Tässä työssä keskeiset dokumentit olivat pääjohtokaavio eli nousujohtokaavio, tasopiirustus, laitteiston oikosulku- ja vikasuojaukseen tarvittavat tiedot ja palo-osastointia koskevat tiedot. Näistä kerron seuraavaksi tarkemmin.

#### **4.5.1 Pääjohtokaavio**

Pääjohtokaavio tai nousujohtokaavio on esitys, josta selviää sähköjakelujärjestelmän periaatteellinen rakenne ja seuraavat tiedot [7, s. 190]:

- liittymisjohto ja jakelujärjestelmät
- jakokeskukset tunnuksineen ja mitoitusarvoineen (mitoitusvirta ja oikosulkukestoisuus)
- suunnitellut erotuskohdat (kytkimet tai muut erotuslaitteet piirrettynä kaavioon)
- pääjohdot suojalaitteineen, mitoittavine asennustapoineen, poikkipintoineen ja pituuksineen eli tarvittavat tiedot johto-osan mitoittamiseksi
- potentiaalitasaus- ja maadoituspaikat.

#### **4.5.2 Tasopiirustukset tai vastaavat**

Piirustuksista ja dokumenteista pitää selvittää näkyvissä ja piilossa olevista laitteista D1-2017:n [7, s. 191] mukaan seuraavat määrittelyt ja tiedot:

- jakokeskusten jakelualueiden määrittelyt
- tarvittaessa virtapiirin tai sähkölaitteen sijoituksen yksilöivät tiedot.

Virtapiirit voi myös merkitä laitteisiin tai jakokeskusten virtapiirien selityksiin riittävän yksilöidysti niin että virtapiiri voidaan yksiselitteisesti tunnistaa tällöin ei tarvita varsinaisia tasopiirustuksia. Olennaista on, että voidaan tunnistaa, mistä joku laite tai piiri saa syöttönsä ja mistä sen saa tarvittaessa jännitteettömäksi. [7, s. 191.]

#### **4.5.3 Laitteiston oikosulku- ja vikavirtasuojaukseen tarvittavat tiedot**

Asennuksen jokaisesta piiristä tulee D1-2017:n [7, s. 191] mukaan olla seuraavat tiedot:

- Suurimmat ja pienimmät oikosulkuvirrat liittymispisteessä ja eri keskuksilla. Oikosulkuvirtojen arvot suositellaan aina laskettaviksi, mutta jos käytävissä ei ole lähtötietoja laskemista varten, oikosulkuvirrat voidaan selvittää mittaamalla, jos esiintyvä oikosulkuvirta on korkeintaan 5kA. Tätä suuremmilla virroilla mittauksen virhe on useita kymmeniä prosentteja.
- Ryhmäjohtojen vikasuojauksen mitoittamiseen tarvittavat tiedot joko oikosulkuvirta-arvoina tai sallittuina suojalaite ja kaapelipituusyhdistelminä.

#### **4.5.4 Palo-osastointia koskevat tiedot**

Palo-osastointia koskevia tietoja tarvitaan sähköasennusten suunnittelussa ja toteutuksessa seuraavista syistä [7, s. 191]:

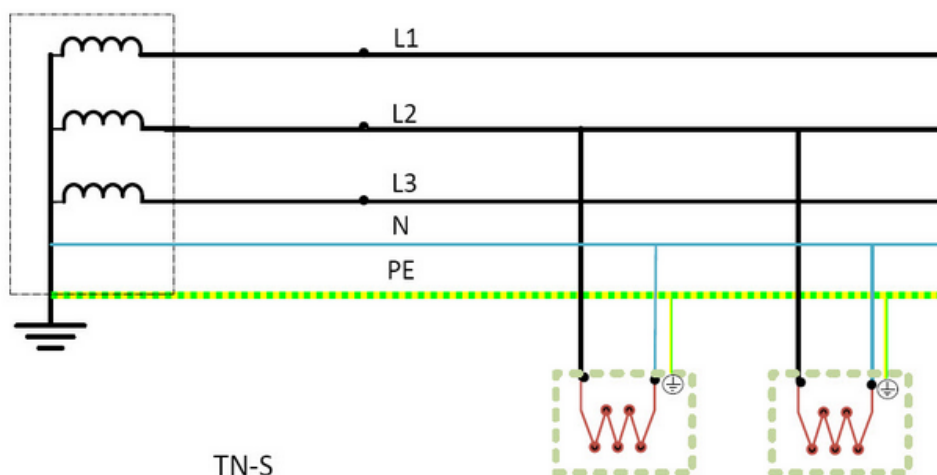
- Kaapelien läpivienneillä ei saa heikentää rakennuksen paloteknistä luokkaa, ja käytävissä pitää olla tiedot rakennuksen palo-osastojen rajoista ja käytetyistä paloluokista.
- Tietoja palo-osastoista tarvitaan poistumisvalaistuksen ja paloilmoitinlaitteiden suunnittelussa ja toteutuksessa.

## 5 NOUSUKAAPELOINNIN MITOITUS JA SUOJAUS SEKÄ MUUNTAJAT JA KESKUKSET

Tässä luvussa käydään tämän työn kannalta keskeisiä käsitteitä, määräyksiä ja suosituksia läpi. Aluksi pohjustetaan hieman teollisuusverkkoa ja jakelua.

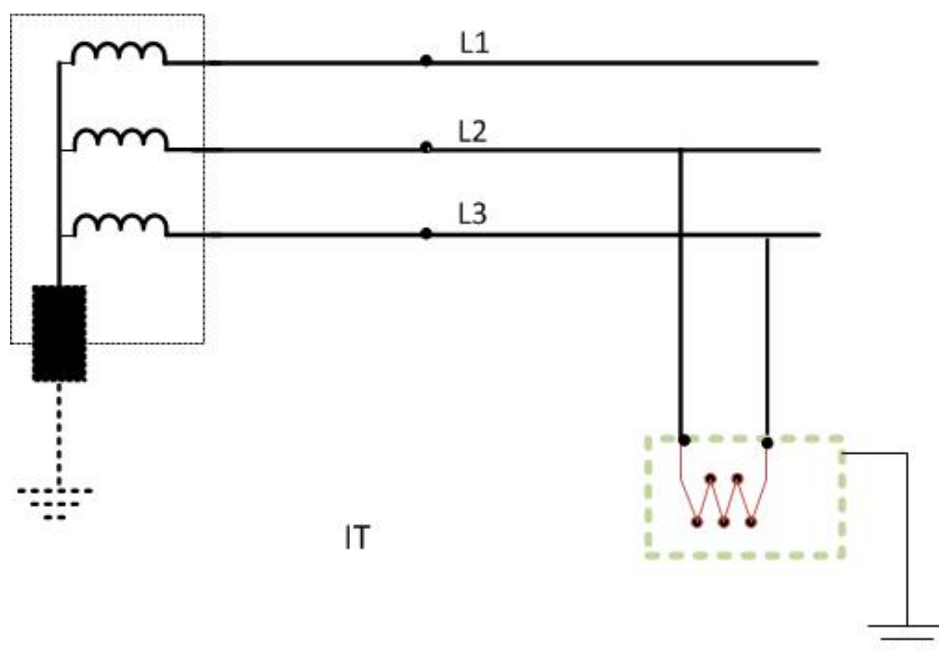
Teollisuudessa käytetään enintään 1000 V jakelujärjestelmässä yleensä joko jäykästi käyttömaadoitettua TN-S-järjestelmää tai vastuksen kautta maahan yhdistettyä IT-järjestelmää. Jälkimmäinen on mahdollista, jos jakelu tapahtuu saman haltijan kulutuslaitteisiin. IT-järjestelmän etuna on, että yksivaiheinen maasulku ei välittömästi aiheuta käyttökeskeytystä. TN-S-jakelujärjestelmässä jännite on yleensä 400 V, IT-jakelujärjestelmässä jännite on puolestaan 500 V tai 690 V. Seuraavassa kuvassa on esitetty molempien järjestelmien rakenteelliset periaatteet. [8, s. 9.]

TN-S-järjestelmässä tarvitaan nolajohtimessa erillinen suojajohtin, joka mahdollistaa palaavan yksivaiheisen kuormavirran pysymisen N-johtimessa (kuva 2). Tällöin häiriövirrat ja -kentät pysyvät mahdollisimman pieninä. TN-S-järjestelmää käytettäessä on tärkeää valvoa N- ja PE- johtimien erillään pysymistä eli verkon vikavirtoja. Vikavirran valvonta voidaan toteuttaa järjestelmän lähtöpisteessä tapahtuvaan suojajohtimessa palaavan virran mittaukseen. Pääkeskuksen yhteydessä voidaan alakeskuslähdoissä käyttää hälyttävää summavirtamittausta (3L + N), jolloin voidaan helposti paikallistaa, missä osassa jakelujärjestelmää vikavirrat syntyvät. [8, s. 9–10.]



Kuva 2. TN-S-jakelujärjestelmän rakenne (DIGMA s.a)

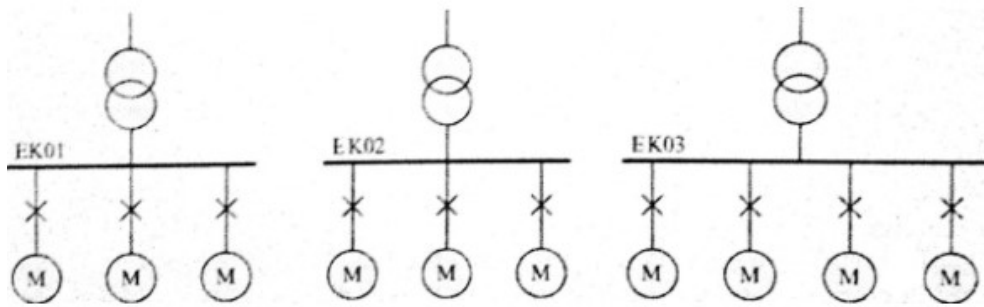
IT-järjestelmässä vikavirtavalvonnan tilalla, jota käytetään TN-S-järjestelmässä, on maasulun valvonta- ja etsintälaitteet. Järjestelmässä muuntajan tähtipiste maadoitetaan vastuksen kautta (kuva 3). Jotta katkeilevan maasulun aiheuttamat ylijännitteet rajoittuisivat sallittuihin arvoihin, tulee vikapaikan ja tähtipisteen vastuksen kautta tuleva resistiivinen maasulkuvirta olla vähintään yhtä suuri kuin kaapeliverkon maakapasitanssin aiheuttama kapasitiivinen virta. Tyypillisesti resistanssin arvo  $250 \Omega$  on käytetty tähtipisteen maadoittamiseen. [8, s. 11.]



Kuva 3. IT-jakelujärjestelmän rakenne (DIGMA s.a)

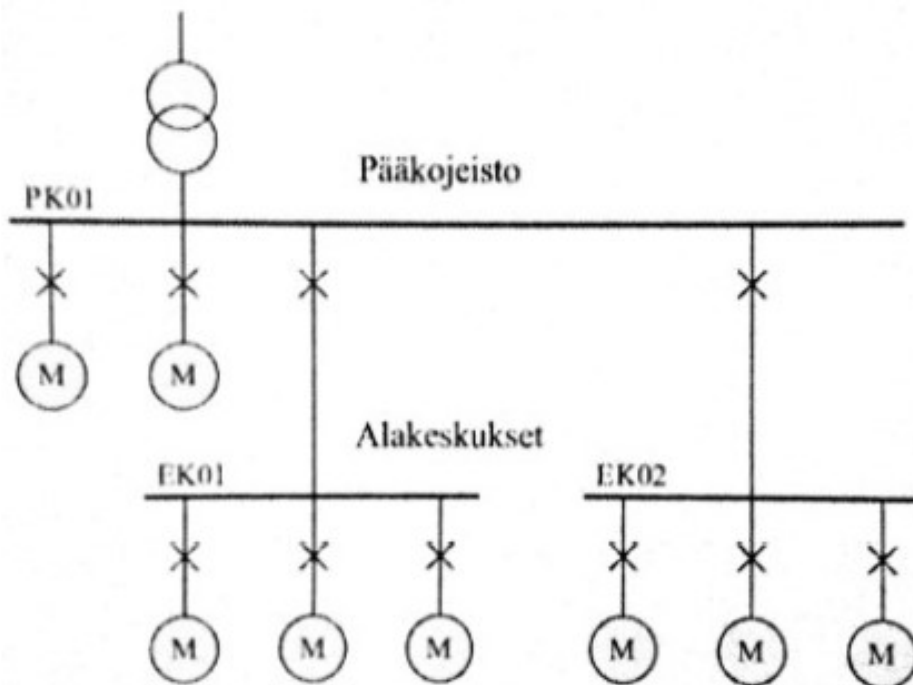
Teollisuusverkon rakenteena voidaan Hietalahden [8, s. 11] mukaan nimetä kolme eri päätyyppiä, jotka ovat keskitetty, porrastettu ja hajautettu jakelu. Käytännön asennukset voivat olla toteutettu siten, että niissä voi olla osia useammasta päätyypistä.

Keskitetyssä jakelussa kaikki moottorilähdöt on keskitetty pääkeskuksiin (kuva 4), jolloin komponenttien oikosulkukestävyys tulee olla erittäin hyvä. Keskitetyn jakelun etuja on, että kojeistot voivat sijaita yhdessä sähkötilassa ja rakenne on kohtuullisen helppo tehdä. Suurten oikosulkuvirtojen lisäksi ongelmana on häiriöiden ulottuminen keskusten syöttämälle prosessin osalle. [8, s. 11–12.]



Kuva 4. Keskitetty jakelu [4, s. 12]

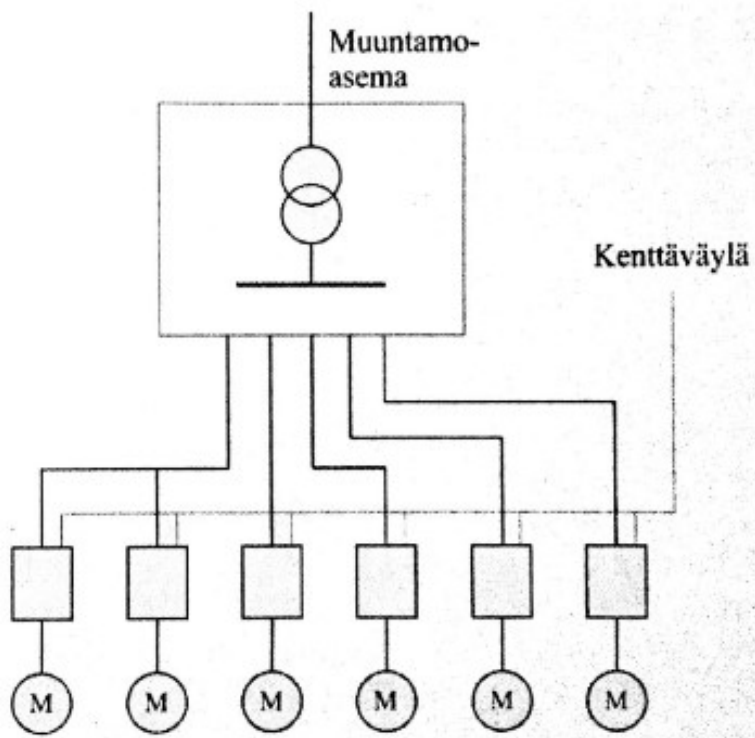
Porrastus voidaan toteuttaa käyttämällä pääkeskus-alakeskus jakelujärjestelmää (kuva 5). Järjestelmä mahdollistaa oikosulkuvirtojen rajoittamisen alakeskuksissa, jolloin komponenttien mitoitus voidaan tehdä pienempien virtojen mukaan. Alakeskuksia voidaan mitoittaa keskenään eritehoisiksi, mikä mahdollistaa erilaisten kuormalähtöjen ryhmityksen. On edullista, että alakeskusten nimellisvirta on alle 1000 A, jolloin syöttöjen oikosulkusuojina voidaan käyttää sulakkeita. Suuritehoiset käytöt kannattaa liittää suoraan pääkeskukseen. Edelleen järjestelmä mahdollistaa alakeskusten sijoittamisen lähemmäksi kuormalaitteita, jolla voidaan optimoida kaapelipituuksia. [8, s. 12.]



Kuva 5. Porrastettu jakelu [5, s. 12]



Hajautetussa jakelussa sähkökäyttöjen ohjaislaitteet sijoitetaan välittömästi moottoreiden läheisyyteen (kuva 6). Varsinainen sähkönjakelu toteutetaan standardirakenteisilla tehdasmuuntamoilla. Jakelujärjestelmä on edullinen, sillä siinä käytetään standardiratkaisuja ja kenttäväyläohjausta. Pienitehoisia käynnistimiä voidaan kytkeä ketjuttamalla samaan syöttökaapeliin. [8, s. 13.]



Kuva 6. Hajautettu jakelu [6, s. 13]

### 5.1 Kaapelin kuormitettavuus ja ylikuormitusriskit

Johdon kuormitettavuuteen vaikuttavat johdinmateriaali, eristemateriaali, ympäristön lämpötila, asennustapa sekä muiden virtapiirien läheisyys. Johdon kuormitettavuuden määrää sen kyky luovuttaa virran aiheuttama lämpö ympäristöön. [7, s. 224.]

Standardisarjassa SFS 6000 on paljon taulukoita korjauskertoimien eri kaapelityypeille, olosuhteille ja asennustavalle. Ympäristön lämpötilan korjauskertoimet ovat annettu väliltä 10–95 °C. Maan lämpötilan korjauskertoimet ovat annettu väliltä 10–80 °C ja lämpöresistiivisyyden korjauskertoimet ovat annettu väliltä 0,5–3 K\*m/W. Asennustavat ovat lajiteltu referenssiasennustavan mukaan selitettynä, jotka ovat annettu väliltä A–G. Johdinten lukumäärille väliltä 1–20 on annettu korjauskertoimen ja kolmi- ja kaksivaiheisille järjestelmille on

omat korjauskertoimet. PeX-, EPR- ja PVC-eristemateriaalille on omat korjauskertoimet. Kupari- ja alumiinijohtimelle on eri virta-arvot. Myös virtapiirien läheisyys vaikuttaa korjauskertoimeen, jotka ovat annettu etäisyyksiltä 0–0,5 m. Kun näistä instrumenteista saadaan korjauskerroin, kerrotaan tämä tarvittavalla virran määrällä. Tuloksena saatua virtamäärää verrataan asianmukaiseen taulukkoon, ja saadaan tarvittava kaapelin paksuus. Näin saadaan laskeamalla kaapelin kuormitettavuus, mutta on tärkeää olla tietoinen myös kaapelin valmistajan antamista ohjeista.

### 5.1.1 Kaapeleiden ylikuormitusriskit

Johdon kuormitettavuus on määritelty johdolle sallitun suurimman lämpötilan mukaan. Johtimelle jatkuvasti sallittua lämpötilaa ei saa ylittää, koska yllämpötila voi aiheuttaa tulipalon ja yllämpötila lyhentää johdon käyttöikä kiihdyttämällä eristeiden vanhenemista. [7, s. 224.]

Pienjänniteverkon nollajohdin ei kuormitu perustaajuisella symmetrisellä kolmivaihekuormalla lainkaan. Epäsymmetrisellä kuormalla nollajohdin kuormittuu korkeintaan saman verran kuin eniten kuormitettu vaihejohdin. Määräysten mukaan nollajohtimen poikkipinnaksi sallitaan puolet vaihejohtimen poikkipinnasta yli 16 Cu- ja 25 Al-johdinpoikkipinnoilla (taulukko 1). Kolmella jaottomat harmoniset yliaallot kuormittavat nollajohdinta samalla tavalla kuin virran perusaalto. Sen sijaan kolmella jaolliset yliaallot voivat saada aikaan nollajohtimeen tehollisarvoltaan vaihejohtimien virtoja suuremman virran, koska ne summautuvat nollajohtimeen. Lisäksi johtimen kuormitettavuus pienenee virran taajuuden kasvaessa, kun johdon vaihtovirtaresistanssi kasvaa. [9, s. 32.]

Taulukko 1. Suosituimmuuskaapelit monijohdinkaapeleissa [1, s. 3]

Poikkipinta mm <sup>2</sup>	$U_0 / U$						
	0,6 / 1 kV					6 / 10 kV	12 / 20 kV
	MCMK	MCMK	AMCMK	AMCMK	AXMK	AHXAMK-W	AHXAMK-W
2,5	3x2,2+2,5	4x2,5+2,5S					
6	3x6+6	4x6+6S					
10	3x10+10	4x10+10S					
16	3x16+16	4x16+16S	3x16Al+10Cu		4x16S		
25					4x25S		
35	3x35+35	3x35+16+16S	3x35Al+10Cu	3x35Al+16Al+10CuS	4x35S		
70	3x70+35	3x70+35+35S	3x70Al+21Cu	3x70Al+35Al+21CuS	4x70S		3x70Al+35Cu
120	3x120+70	3x120+70+70S	3x120Al+41Cu	3x120Al+70Al+41CuS	4x120S		3x120Al+35Cu
185	3x185+95	3x185+95+95S	3x185Al+57Cu	3x185Al+95Al+57CuS	4x185S	3x185Al+35Cu	3x185Al+35Cu
240	3x240+120	3x240+120+120S	3x240Al+72Cu	3x240Al+120Al+72CuS	4x240S		3x240Al+70Cu
300					4x300S	3x300Al+35Cu	

Rakennuksissa käytetään myös salamasuojausjärjestelmiä, Kauppilan ym. [10, s. 143] mukaan ylijännitesuojien tarkoituksena on myös suojata rakennukseen tulevia sähkö- ja telejohtoja salaman iskiessä rakennukseen tai sen välittömään läheisyyteen.

## **5.2 Oikosulkusuojaus**

Oikosulkusuojukselle on kaksi keskeistä vaatimusta. Oikosulkusuojan on pystyttävä katkaisemaan suurin piirissä esiintyvä prospektiivinen oikosulkuvirta, ja poiskytkennän on tapahduttava, ennen kuin suojalaitteen suojaamat piirit vaurioituvat. Prospektiivisella oikosulkuvirralla tarkoitetaan virtaa, joka kulkee piirin syöttöjohtimissa, kun ne on oikosuljettu merkityksettömän impedanssin omaavalla johtimella niin lähellä keskuksen syöttöliittimiä kuin mahdollista. Prospektiivista oikosulkuvirtaa käytetään suojalaitteen katkaisukykyä määriteltäessä, jolloin suojalaitteen oikosulkuvirtaa rajoittaa vaikutusta ei voida ottaa huomioon. Suojalaitteen virtaa rajoittava vaikutus voidaan kuitenkin ottaa huomioon keskuksen oikosulkukestoisuutta määrittäessä. [7, s. 142.]

Verkon ja laitteiden mitoittamisessa, oikosulkusuojuksen ja turvallisen käytön suunnittelussa on tunnettava oikosulkuvirrat eri käyttötilanteissa ja eri osissa verkkoa. Verkon komponenttien on kestävä oikosulun aikaiset dynaamiset ja termiset rasitukset. [8, s. 225.]

Liitteessä 1 olevassa kaapelin valmistajan taulukossa on kuvattu suurinta sallittua yhden sekunnin kestävä termistä oikosulkuvirtaa erikokoisille kaapeleille.

### **5.2.1 Oikosulkuvirran sähkömagneettinen vaikutus**

Oikosulkuvian tuottama sähkömagneettinen voima perustuu Amperen lakiin. Sen suuruus on riippuvainen oikosulkuvirrasta sekä suurivirtaisten johtimien välisestä etäisyydestä niin, että suurin voima syntyy, kun johtimet ovat lähellä. Yksijohdinkaapelien tapauksessa tarve kaapelien kiinnitykselle oikosulku tilanteessa on itsestään selvä sekä kolmio- että tasoasennuksissa, ja tämä on myös järjestelmäsuunnittelijoiden yleisesti hyväksymä toimintatapa. Kiinnittämättömät tai puutteellisesti kiinnitetyt kaapelit voivat liikkua äkkiä voimakkaasti, mikä voi vahingoittaa lähellä olevia piirejä, laitosta tai ihmisiä. [11, s. 1.]

### 5.2.2 Oikosulkuvirran terminen vaikutus

Laitteiden ja asennusten on kestettävä oikosulun mekaanisten vaikutusten lisäksi myös sen termiset vaikutukset. Oikosulkuvirta aiheuttaa oikosulkuvirran reitillä olevien johtimien, laitteiden ja liittimien lämpenemistä. Osa tästä lämpenemisestä siirtyy niiden ympäristöön johtumalla tai säteilemällä, kuten esimerkiksi tukieristimiin. Lämpeneminen alentaa materiaalien myötörajaa ja eristimien eristyskykyä. Jos lämpenemä ylittää sallitun kestoisuuden, voi seurauksena olla laitteen rikkoutuminen. Lämpeneminen aiheuttaa myös materiaalien laajentumisen, mikä pitää ottaa suunnittelussa huomioon. [12, s. 30.]

### 5.3 Selektiivisyys

Selektiivisyys tarkoittaa SFS-käsikirja 600-1-1:n [13, s. 297] mukaan kahden tai useamman suojalaitteen ominaisuuksien yhteensovittamisen siten, että määrättyjen raja-arvojen mukaisen ylivirran tai vikavirran esiintymisen takia toimii suojalaite, joka on tarkoitettu toimimaan näiden raja-arvojen sisällä, mutta muut suojalaitteet eivät toimi.

Ensimmäinen tapa selektiivisyyden tarkastamiseen eri suojalaitteita käyttäessä on virta-aikaominaiskäyrien avulla saatavat käyrät. Toisena tapana on I<sup>2</sup>t-kuvaaja, jota tarkastelemalla saadaan tieto energian suuruudesta sulakkeen läpi. Kolmantena tapana tai edellisten tapojen tukena selektiivisyyden tarkastamiseen voidaan saada valmistajien antamista taulukoista ja teknisistä tiedoista.

### 5.4 Kaapelin käyttöikä

Polymeeripohjaisille kaapelimateriaaleille ikääntymistä aiheuttavat tärkeimmät haurastumistekijät ovat seuraavat: lämpötila, säteilyn annosnopeus ja säteilyannos, happi, kosteus, mekaaninen stressi, otsoni ja kontaminoivat kemikaalit [14, s. 9].

Energiavirasto on määrittänyt kaapeleille teknistaloudellisten pitoaikojen keskiarvosta muodostettua pitoaikaväliä. Energiaviraston [15, s. 97] taulukon mukaan 0,4 kV maakaapelin pitoaikaväli on 35–50 vuotta.

## 5.5 Kaapelin mekaaninen suojaus ja reitit

Johdot asennetaan ja valitaan siten, että ne kestävät niihin kohdistuvat mekaaniset rasitukset. Riittävä kestävyys voidaan saavuttaa joko käyttämällä mekaanisesti vahvaa, esim. ameerattua kaapelia, sijoittamalla kaapeli siten, että se ei ole alttiina mekaaniselle vahingoittumiselle, tai käyttämällä mekaanisesti vahvaa lisäsuojusta. [7, s. 203.]

## 5.6 Palo-osastot ja -katkot

Palokatkon tehtävänä on tiivistää osastoivan rakennusosan läpi kulkevien kaapelien, putkien, roilojen, kanavien, hormien sekä kuljetinlaitteistojen edellyttämät läpiviennit niin, ettei olennaisesti heikennetä rakennusosan osastoituvuutta (RakMk E1 / 7.4.1). Palokatko estää tulipalon syttyessä liekkien, kuumuuden ja savukaasujen leviämisen läpivientien kautta rakenteelle määrätyn palonkestoajan turvaten poistumista ja estäen vahingon leviämistä. [16.]

Rakennukset tai niiden palo-osastot ryhmitellään niiden pääkäyttötavan perusteella. Lähtökohtana käyttöaika (päivä, ilta tai yö) käyttäjien tilojen tuntemus sekä pelastautumisvalmius palotilanteessa. Käyttötapoja ovat esimerkiksi asunnot, majoitustilat, hoitolaitokset, tuotanto-/varastotila, jne. Rakennus tulee jakaa yleensä palo-osastoihin palon ja savun leviämisen rajoittamiseksi, poistumisen turvaamiseksi, pelastus- ja sammutustöiden helpottamiseksi sekä omaisuusvahinkojen rajoittamiseksi. [16.]

## 5.7 Muuntaja

Muuntaja eli tehomuuntaja on staattinen laite, jolla voidaan muuttaa sähköisen järjestelmän jännite halutulle tasolle esimerkiksi 20 kV:sta 400 V:iin. Sen toiminta perustuu sen sisällä olevaan rautasydämeen ja johtimiin, jotka on kierretty rautasydämen ympärille moneksi kerrokseksi. Tehomuuntajia käytetään monissa eri käyttötarkoituksissa, kuten energian siirrossa ja jakelussa, mittalaitteissa, sähköisissä suodattimissa, jakeluverkon muuttamisessa kolmivaiheisesta yksivaiheiseksi ja sähköverkkojen erottamisessa toisistaan galvaanisiksi. [17, s. 4.]

### 5.7.1 Öljyeristeiset muuntajat

Teollisuuden muuntajissa käytetään usein erillistä paisuntasäiliötä. Muuntajien koko on usein suurempi kuin tavanomaisilla jakelumuuntajilla. Öljyn lämpeneminen näkyy sen pinnan korkeuden vaihteluna paisuntasäiliön öljylasissa. Näissä muuntajissa käytetään usein myös ilmankuivaimia. [10, s. 54.]

### 5.7.2 Kuivamuuntajat

Kuivamuuntajassa käämitykset ja rautasydän ovat suoraan kosketuksissa ympäröivään ilmaan. Lämpöhäviöiden vaikutuksesta muuntajaa ympäröivä ilma lämpiää lämpösäteilyn vaikutuksesta. Kuivamuuntajia pyritään käyttämään varsinkin räjähdys-, saastumis- ja palovaarallisissa tiloissa. [18, s. 3.]

### 5.7.3 Muuntajan käyttöikä

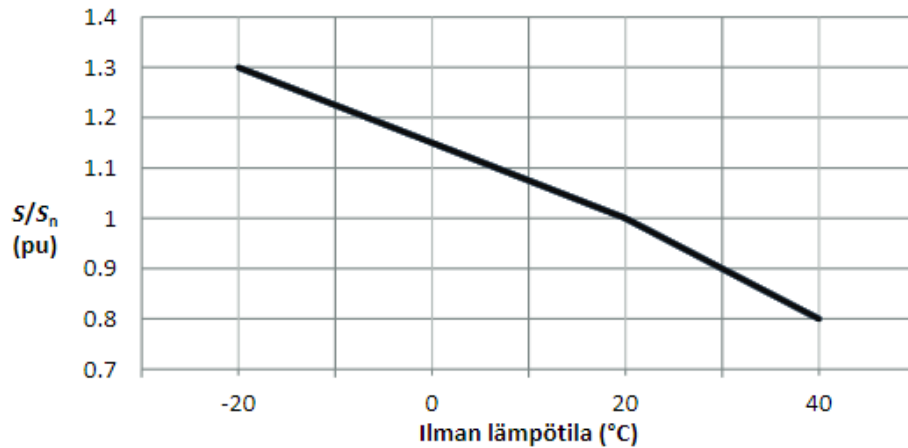
Energiaviraston [15, s. 99] taulukon mukaan 20/0,4 kV puistomuuntamon pitoväli on 40–50 vuotta. Öljyeristeisen muuntajan kuntoa voidaan kuitenkin seurata ottamalla öljynäytteitä, jotka analysoidaan laboratoriossa. Nopeasti lisääntyneet kaasut kertovat muuntajan vikatilasta ja tasaisesti sekä hitaasti kasvavat kaasumäärät ovat osoitus tavallisesta vanhenemisestä.

Kuivamuuntajan kunnonvalvonta on haasteellisempaa, koska analysoitavaa nestettä ei ole. Kuivamuuntajan pääasiallinen kunnonarviointi tapahtuu iän ja aistinvaraisen tarkastuksen perusteella. Ylikuormituksen estämiseksi voidaan asentaa virta- ja lämpöanturit. Käyttöikää pystyy pidentämään säännöllisellä puhdistamisella ja käämien kiristämällä.

### 5.7.4 Muuntajan ylikuormitusriskit

Muuntajan kuormituksen kasvaessa sen lämpötila nousee ja eristeiden vanheneminen nopeutuu. Vanhenemisnopeus kaksinkertaistuu ja vastaavasti elinikä lyhenee puoleen käämin kuumimman pisteen lämpötilan noustessa 6–8 °C, kun liikutaan lämpötila-alueella 80–140 °C. Lämpötilan lisäksi eräät muut tekijät, kuten happi, hapot ja kosteus, nopeuttavat vanhenemistä. Vanheneminen asettaa rajat muuntajan kuormitettavuudelle. Julkaisun IEC 354 mukaan ilma- ja jäähdytetyn öljyeristeisen muuntajan normaalina käyttönä pidetään jatkuvaa

käyttöä nimellisteholla +20 °C ympäristön lämpötilassa (kuva 7). Eristeet vanhenevat tässä käyttötilanteessa nopeudella, jota voidaan pitää normaalina. [10, s. 59.]



Kuva 7. Sallitun jatkuvan kuormitettavuuden riippuvuus ympäristön lämpötilasta [7, s. 627]

## 5.8 Teollisuuskeskukset

Teollisuudessa käytetään keskuksia moottoreiden syöttö- ja ohjauslaitteiden sijoittamisessa sähkötiloihin. Edelleen keskuksia käytetään automaatiojärjestelmien ohjauskaappeina sekä kiinteistösähkön jakelussa. Keskukset sijoitetaan yleensä sisätiloihin, jotka voivat olla lämpimiä tai ympäristön lämpötilan mukaan käyttäytyviä. Vikatilanteissa keskuksen tulee kestää valokaaren aiheuttamat lämpö- ja painevaikutukset. Paineiskulta suojaudutaan mahdollistamalla paineen purkautuminen ympäristöön sopivasta kohtaa keskusrakennetta. [8, s. 196.]

### 5.8.1 Kennokeskus

Kennokeskukset ovat tyypillisesti metallirakenteisia, jotka varustetaan ja testataan keskusvalmistajan toimesta ennen asentamista kohteeseen. Kennokeskuksessa on sisäinen alumiinisilla tai kuparikiskoilla toteutettu jakelu, joka jaetaan pää- ja haarakiskoisiin. Syöttö keskukseseen tuodaan kaapelilla tai kiskosillalla. Vaakasuuntaisista kiskoista lähtee määräväleihin pystysuuntaisia haarakiskoja, joilla syötetään lähtökennoja. Lähtökennot sisältävät kunkin lähtevän syötön etukojeet, ovelta on tarvittavat tunnuskilvet sekä käyttökytkin. [8, s. 198.]

### **5.8.2 Kotelokeskus**

Kotelokeskukset ovat metallisia tai muovista valmistettuja kosketussuojattuja ala- tai ryhmäkeskuksia. Keskukset tehdään yhdessä osassa ja kiinnitetään seinään tai erilliseen asennuslevyyn. Keskusten jännite on tyypillisesti 400 V ja nimellinen virta enintään 630 A. [8, s. 202.]

### **5.8.3 Kaappikeskus**

Kaappikeskukset ovat lattialla seisovia kaappimallisia keskuksia, joissa on yksi tai useampia lähtökenttiä. Kaappikeskuksia käytetään taajuusmuuttajien, ohjauslaitteiden tai automaatiolaitteiden kotelointiin. Keskusten oviin voidaan asentaa kytkimiä, ohjauspaneeleita, merkkilamppuja, piirtureita jne. komponentteja. Tällöin keskuksen ovi voi toimia jonkun prosessin osan valvontataulun ja ohjauspaikkana. [8, s. 203.]



## **6 TEOLLISUUSKOHTTEEN KAAPELEIDEN, KESKUSTEN JA MUUNTAJAN TARKASTUS JA DOKUMENTOINTI**

Teollisuuslaitoksen vanhin osa on rakennettu 1993, mihin menevät alkuperäiset ryhmäkeskusten kaapelit. Yleisin kaapeli on AMCMK 3x185+95/57. Alueella on kaksi muuta rakennusta, jonka käyttötarkoitus on muuttunut ja näin ollen myös ryhmäkeskukset. Toiset kaksi rakennusta on tuotanto ja varastotiloja, jotka ovat tarkoituksenmukaisessa käytössä mutta tässä ryhmässä voi olla ylikuormitusriski tai ainakin lisää laajennusta ei pysty tekemään. Näiden lisäksi on vielä yksi vuonna 2000 rakennettu tuotantohalli, jonka läheisyyteen on tuotu puistomuuntaja. Puistomuuntajan yhteydessä on sähköpääkeskus 2. Puistomuuntajasta, sähköpääkeskus 2:sta ja nousujohtokaaviosta ei ole lainkaan kuvia, eikä niitä saa, koska työt tehnyt asentaja on menehtynyt. Sähköpääkeskuksesta 1, päämuuntajasta ja siitä oleva nousujohtokaavio ja sähkönjakelukuva on olemassa työpiirustuksena, mutta tarvitsee päivityksen todellisuutta vastaavaksi. Liitteessä 2 on havainnollistava kuva alueesta, jotta lukija pysyy paremmin selvillä tässä luvussa esitettävistä asioista.

Teollisuusalueen jakelujärjestelmä on jäykästi maadoitettu TN-S-järjestelmä. Teollisuusalueen jakelurakenteena on keskitetyn ja porrastetun jakelun sekoitus. Isotehoisimpiin laitteisiin syöttö menee keskitetyn jakelurakenteen mukaan, jolloin sulake toimii ylikuormitus- ja oikosulkusuojana. Pienitehoisemmat kuormat, kuten valaistus on toteutettu porrastetulla jakelurakenteella.

Teollisuusalueen keskustyyppejä on kaikkia 4.8 luvussa mainittuja. Kennokeskus löytyy sähköpääkeskuksesta yksi. Laitteiden keskukset kentällä ovat kaappikeskuksia, jotka ovat tilavia ja keskukseen pystyy lisäämään tarvittavia komponentteja helposti ja nopeasti. Kotelokeskukset olivat yleensä alakeskuk-  
sia.

### **6.1 Kaapeleiden kartoitus ja dokumentointi**

Kohteen kaapelityypit saatiin helppoiten sähköpääkeskuksilta, josta kaikki kaapelit lähtevät kentälle. Jakokeskuksien päästä katsottiin, lähteekö muita kaapeleita alakeskuksille. Kaapelin tiedot ja keskusten väliset kaapelit dokumentoitiin sähkönjakelukuvaan ja nousujohtokaavioon.

### **6.1.1 Kaapeleiden kartoituksen havainnot**

Kaapeleiden tyypit puuttuivat sähkönjakelukuvasta ja nousujohtokaaviosta sähköpääkeskuksen 1 ryhmissä 4, 5, 15 ja 17. Lisäksi ryhmien 12, 13, 20 ja 21 alakeskusten kaapelit puuttuivat kuvista. Hallia 5 syöttävä sähköpääkeskuksen 2 kuvia ei ollut lainkaan, kuten aikaisemmin mainittiin.

Kaapelityyppien selvityksen jälkeen tiedot vietiin kuviin, jolloin kuvat ovat tältä osin ajan tasalla.

## **6.2 Keskusten kartoitus ja dokumentointi**

Kaapelityyppien tutkinnan lomassa pystyttiin sähköpääkeskuksilta katsomaan sulakkeen koko sekä mittaamaan virta, kun tuotanto on käynnissä. Kentällä olevien jakokeskusten sulakekokojen kirjausten lisäksi otettiin ylös keskusten nimellisvirta laajennusvaran tarkastelua varten. Keskuksien tarkastelun kohteena oli myös merkinnät, siisteys ja sijainti.

Teollisuusalueelta dokumentoimattomia keskuksia löytyi lopulta 12 kappaletta. Löydökset dokumentoitiin nousujohtokaavioon ja sähkönjakelukuvaan.

### **6.2.1 Keskusten merkintöjen tarkastus**

Sähköpääkeskuksen 1 ryhmissä 8 ja 17 sulakekoko oli merkattu väärin. Ryhmässä 11 sulakekoko merkintä puuttui kokonaan.

Yleisesti kentällä olevat keskuksset olivat tunnistettavissa, koska tunnisteita on lisätty jälkikäteen.

### **6.2.2 Keskusten siisteys**

Sähköpääkeskuksen 1 lattialla oli työvarusteita, dokumentteja ja komponentteja. Tämä vaikeuttaa kansien avaamista ja työskentelyä alueella.

Kentällä olevista ryhmien 9 ja 19 keskuksset olivat erittäin pölyisiä ja likaisia. Todennäköisesti näiden keskusten ovet ovat olleet auki pitkiä aikoja. Keskusten siivoaminen otettiin työn alle nopeasti ja keskuksset on siivottu.

### **6.2.3 Keskusten sijainti**

Tehtaassa on yksi väärässä paikassa oleva ohjauskeskus. Ohjauskeskus sijaitsee keskellä työaluetta, jossa käytetään siltanosturia tuotteiden siirtämiseen. Siirrettäviä tuotteita on tippunut ohjauskeskuksen päälle ja ohjauskeskus on nostettu takaisin pystyyn ainakin kaksi kertaa. Ohjauskeskus on kolhiintunut ja ovi on irti saranoiltaan.

### **6.2.4 Keskusten turvallisuus**

Uusimman viidennen hallin ryhmien 3 ja 4 syöttävästä keskuksista löytyi kannen avatessa täysin irrallaan oleva nollajohdin. Lisäksi saman syötön sähköpääkeskuksen 2 puolelta maadoitusjohdin oli hyvin heikosti kiinni maadoituskiskossa, että johdin oli syövyttänyt liitintä. Tässä vaiheessa keskuksen kansi oli auki nollajohtimen ollessa kytkemättömänä ja mahdollisesti virrallisena. Taphtuneesta ilmoitettiin käytönjohtajalle ja tuotanto pysäytettiin välittömästi, jolloin kyseinen keskus pystyttiin tekemään jännitteettömäksi. Epäkohdat korjattiin, jolloin tuotanto pystyi jatkumaan.

Hallissa 3 olevissa ohjauskeskuksissa on roikkuvia ovia sekä yhdessä laitekeskuksessa kahvasulakkeen pohjan välilevy oli pudonnut lattialle. Muutoin keskuksia ovat työkalulla avattavia, johon maallikko ei pääse koskemaan jännitteisiä osia.

## **6.3 Oikosulkusuojaus**

Käytössä olevilla mittareilla emme pystyneet mittaamaan oikosulkuvirtaa lähimpänä sähköpääkeskuksia olevia jakokeskuksia, sillä oikosulkuvirrat olivat niin isoja. Tällöin päätimme mitata molempien sähköpääkeskusten epäedullisimman ryhmän jakokeskukset.

Ryhmälle 6 menee kolme kappaletta AMCMK 4x185/57 johdinta. Tällä hetkellä oikosulkusuoja on asennettu pelkästään johtimen alkuun, kun kolmella rinnankytketyllä johtimella oikosulkusuoja pitäisi asentaa johtimen alkuun ja loppuun.

### 6.3.1 Mitatut oikosulkuvirrat

Oikosulkuvirrat mitattiin kuvassa 8 näkyvällä HT COMBI 420-mittarilla. Mittari on tarkoitettu sähköturvallisuusmittauksiin asuin-, liike- ja teollisuuskiinteistöissä. Mittarilla voidaan suorittaa voimassa olevien standardien mukaiset sähköasennusten turvallisuusmittaukset.



Kuva 8. HT COMBI 420 (Hedengren s.a)

Sähköpääkeskuksen 1 epäedullisin jakokeskus sijaitsi hallin 4 pihassa. Tulokseksi saatu oikosulkuvirta oli 450 A. Sähköpääkeskuksen 2 epäedullisin jakokeskus sijaitsi aivan perimmäisessä nurkassa hallissa 5. Tulokseksi saatu oikosulkuvirta oli 260 A. Molemmat arvot ovat D1-2017:n [7, s. 94] taulukon mukaan riittäviä, kun gG-sulakkeet ovat nimellisvirraltaan 63 ja 25 A.

## 6.4 Selektiivisyys

Vanhassa tehtaassa selektiivisyys oli kunnossa, sillä alakeskuksia oli asennettu vain pieniä laitteita tai valaistusta varten. Monelta osin varsinainen ongelma on halli 3, jota syöttää kaksi ryhmää neljällä kaapelilla.

Hallia 3 syöttävä ryhmän 13 sähköpääkeskuksessa oleva sulake on 400 A. Hallista olevasta keskuksesta lähtee kaksi alakeskusta, joista toisessa alakeskuksessa on 400 A sulake eli sama kuin sähköpääkeskuksessa. Tällöin selektiivisyys ei toimi ja pahimmassa tapauksessa sulake laukeaa sähköpääkeskuksen puolelta, jolloin puolet hallista on sähköttää. Perusteita näin suurelle sulakkeelle hallissa ei ole, koska koko ryhmän mitattu virta on vain 231 A. Tällöin sulakekokoa on pienennettävä.

## 6.5 Kaapelin reitit, mekaaninen suojaus ja ikä

Kaapelireittien osalta on mahdoton tarkistaa maassa olevien kaapelien asennustapaa ja standardien mukaisuutta, jolloin havainnot ja korjausehdotukset tehtiin näkyville kaapeleille. Ensimmäiseltä sähköpääkeskukselta kaapelit lähtevät maassa tehdasrakennukseen. Tehdasrakennuksessa kaapelit menevät kaapelihyllyillä. Ensimmäisenä huomiona muutamissa paikoissa pystysuorassa kaapelihyllyssä olevia kaapeleita on kiinnitetty vain nippusiteellä. Nippusiteiden tilalle tulee vaihtaa korroosiosuojattu kaarikiinnike. Toisena huomiona tehdään läpikulkeva kaapeli, joka menee halliin 3 ja hallista 3 halliin 4 kulkeva kaapeli kulkee tehtaassa seinää pitkin ja on siten alttiina ulkoilman olosuhteille. Tämä nopeuttaa kaapelin vanhenemista. Kolmantena huomiona on halleissa 3 ja 4 kaapelit kulkevat pääosin seinää pitkin, kun käytännöllisempää olisi kaapelihyllyn käyttäminen. Hallissa 5 kaapelihylly on asennettu pelkästään yhdelle seinälle. Tämä vaikeuttaa lisäasennuksia tehdessä hallin toiselle puolelle. Tästä syystä suosittelun kaapelihyllyn lisäämistä hallin poikittaissuunnasta.

Mekaanisen suojauksen osalta tehdasrakennuksessa oli paikka, jossa tuotannossa käytettäviä rautaisia välineitä nojasi jakokeskusten syöttökaapeleihin, jotka nousevat lattiasta ylös. Kyseiset kaapelit on suojattava muototeräksellä tai muulla vastaavalla mekaanisella suojuksella. Toisena huomiona on hallin 3

takana olevat kaapelit sähkömoottoreille kulkevat vapaasti maassa purun seassa. Kaapelit tulee asentaa maan alle tai lankahyllyille, jolloin säästytään kaapelien mekaaniselta rasitukselta. Kolmantena huomiona on hallista 1 halliin 5 kulkeva tilatietokaapeli, joka kiinnitetty metalliseen verkkoaitaan. Tämä reitti ei ole hyväksyttävä, jolloin kaapeli tulee asentaa maahan.

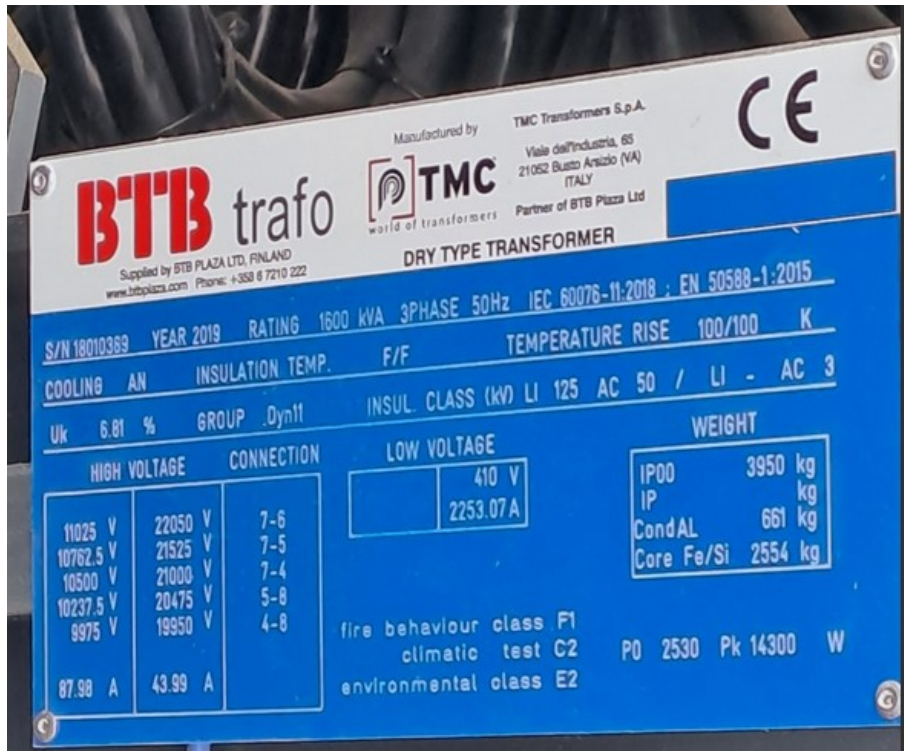
Kaapelin ikään vaikuttaa jo aiemmin luetellut rasitukset. Mikäli kaapeleiden rasitus on ollut tavanomaista, on kohteessa olevat 30 vuotta vanhat kaapelit käyttökelpoisia.

## **6.6 Palo-osastot ja -katkot**

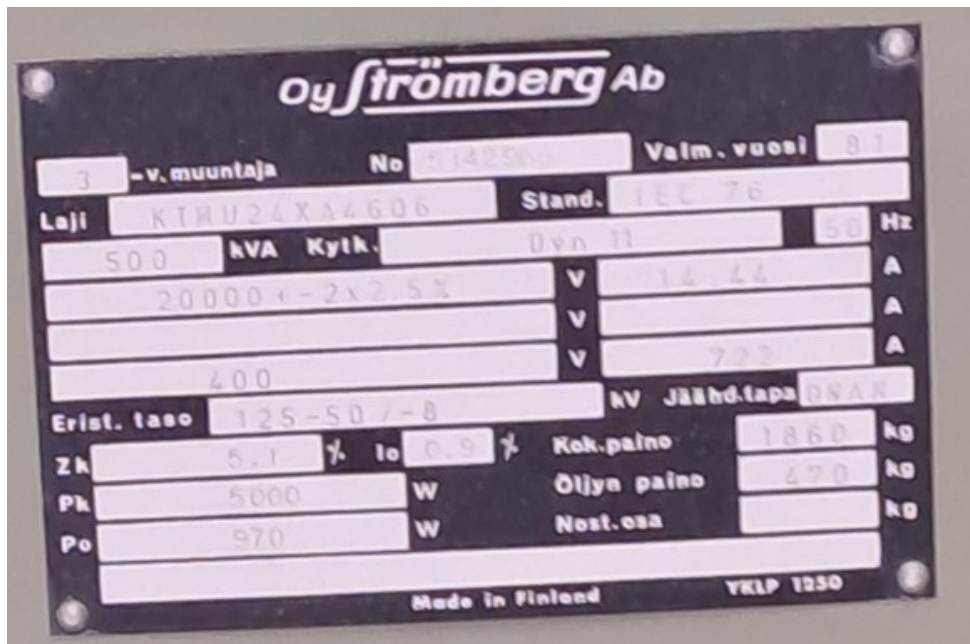
Tehdasalueella jokaiset viisi hallia on määritelty omaksi paloalueeksi. Hallieissa ei ole palo-osastointia. Tällöin osastoivien rakennusosien läpivientejä ei voi analysoida. Palon leviämisen hidastamiseen käytetään tehokasta sprinklerijärjestelmää.

## **6.7 Muuntajan tarkastus ja dokumentointi**

Teollisuusalueen kahden muuntajan tilat tarkastettiin ja tehtiin huomioita havainnoista. Sähköpääkeskuksessa 1 on 1600 kVA kuivamuuntaja, joka oli moitteettomassa kunnossa myös tilojen osalta aistinvaraista tarkastusta tehtäessä. Sähköpääkeskuksessa 2 on 500 kVA öljyeristeinen paisuntasäilöllä varustettu muuntaja. Tästä puistomuuntajasta löytyi turvallisuusriskejä. Muuntajien tiedot lisättiin nousujohtokaavioon ja sijainti lisättiin sähkönjakelukuvaan. Lisäksi kuivamuuntajan (kuva 8) ja öljymuuntajan (kuva 9) arvokilvistä otettiin kuva.



Kuva 9. 1600 kVA Kuivamuuntajan arvokilpi



Kuva 10. 500 kVA öljyeristeisen muuntajan arvokilpi

### 6.7.1 Case muuntaja 2

Muuntaja 2 on puistomuuntamo, joka sijaitsee hallin 5 läheisyydessä ja kyseisen hallin syöttö tulee tämän muuntajan kautta. Samassa tilassa sijaitsee myös sähköpääkeskus 2. Puistomuuntaja on rakennettu osittain maan alle ja tilaan kertyy vettä. Vettä kertyy niin paljon, että osa muuntajasta on vedessä ja sähköpääkeskuksen 2 liittimet ovat vaarassa kastua. Tarkastushetkellä vettä

ei ollut, mutta aikaisemmin olleen vedenpinnan korkeuden pystyi havaitsemaan kaapelin pinnalla olevista hiekan jäämistä. Tilan täyttyessä vedestä on sitä käyty pumpaamassa pois tarvittaessa 1–2 kertaa vuodessa. Muuntajan kuntoa ei voi arvioida, kun aistinvaraisesti, koska öljynäytteitä ei ole otettu säännöllisesti.

Puistomuuntamo ja sähköpääkeskus pitäisi rakentaa uudestaan korkeammalle, sillä SFS-käsikirja 601:2018:n [19, s. 58] mukaan sähkötilat on rakennettava siten, että veden sisäänpääsy tällaisiin tiloihin estetään ja kosteuden tiivistyminen niissä minimoidaan. Sähkölaitteiden sekä veden yhdistelmä aiheuttaa käyttöturvallisuuden heikentymistä ja pahimmassa tapauksessa työtäpaturman. Lisäksi muuntajan ikä on 42 vuotta, jolloin se alkaa olemaan keskimääräisen pitoaikavälin haarukassa.

## **6.8 Mitatut virrat**

Virrat mitattiin kuvassa 11 näkyvällä mittarilla ja lisäosalla. Monin paikoin sulakkeet olivat ylimitoitettuja verrattuna siihen, kuinka paljon virtaa meni. Ryhmässä 16 on käyttötarkoitus muuttunut, jolloin sulakkeen tarkastaminen alapäin on paikallaan. Toisena huomiona oli valaistuksien ryhmät 10, 11 ja 21, joiden virrat olivat pieniä verrattuna sulakekokoon. Tämä johtuu siitä, että loisteputkivalaisimet on vaihdettu led-valoihin. Taulukosta 2 nähdään jokaisen ryhmän mitattu virta.





Kuva 11. FLUKE A3001FC (Yleiselektroniikka s.a)

## 6.9 Ylikuormitusriskit

Ylikuormitus suojaus on kunnossa vain kuudessa ryhmässä, jotka ovat: 11, 17, 18, 21, 25 ja 26. Lisäksi kahdessa alakeskuksessa ylikuormitus suojaus on kunnossa. Suurin sallittu sulakkeen nimellisvirta on katsottu D1-2017:tä. Kaapeleiden kuormitettavuus on katsottu SFS-käsikirja 600-1-1:tä, jossa ei ole huomioitu kaapelien välistä etäisyyttä. Riippuen kaapelin etäisyydestä vierekkäisten johdinten ollessa yli 20 kappaletta kaapeleiden kuormitettavuus laskisi reilusti. Ongelmallisinta kohtaa on juuri sähköpääkeskus 1:n jälkeen, jossa kaikki kaapelit kulkevat melko lähellä toisiaan. Kaapelit tuottavat melko paljon lämpöä, koska talvella piha pysyy sulana kaapeleiden reitin kohdalla.

### 6.9.1 Ryhmien ylikuormitusriskit

Taulukosta 2 näemme sulakkeet, kaapelit, mitatun virran, kaapelin suurimman kuormitettavuuden, suurimman sallitun sulakekoon ja keskusten nimellisvirran. Nousujohtokaavio esittäisi asiat selkeämmin, mutta sitä ei voi käyttää, sillä useimmat keskuskeskukset on nimetty teollisuuslaitteiden mukaan ja on tällöin sallassa pidettäviä tietoja.

Taulukko 2. Teollisuusalueen sulake-, kaapeli-, ja virtatietoja

<b>Ryhmä</b>	<b>SPK 1 Sulake</b>	<b>Kaapeli</b>	<b>Mitattu virta</b>	<b>Kuormi- tettavuus</b>	<b>Max. sulake</b>	<b>Rk In</b>
<b>4</b>	630 A	2x MCMK 3x185+95	148 A	556 A	500 A	
<b>5</b>	630 A	2x MCMK 3x185+95	76 A	556 A	500 A	
<b>6</b>	630 A	3x AMCMK 4x185/57	441 A	642 A	500 A	630 A
<b>7</b>	400 A	AMCMK 3x185+95/57	128 A	214 A	160 A	
<b>8</b>	250 A	AMCMK 3x185+95/57	231 A	214 A	160 A	
<b>9</b>	400 A	2x AMCMK 3x185+95/57	164 A	428 A	315 A	350 A
<b>10</b>	400 A	2x AMCMK 3x185+95/57	86 A	428 A	315 A	
<b>11</b>	315 A	2x AMCMK 3x185+95/57	35 A	428 A	315 A	400 A
<b>12</b>	500 A	2x AMCMK 3x185+95/57	231 A	428 A	315 A	400 A
<b>13</b>	400 A	2x AMCMK 3x185+95/57	231 A	428 A	315 A	630 A
<b>14</b>	400 A	AMCMK 3x185+95/57	141 A	214 A	160 A	150 A
<b>15</b>	200 A	AMCMK 4x185+95	91 A	214 A	160 A	
<b>16</b>	400 A	AMCMK 4x240/27	11 A	250 A	200 A	
<b>17</b>	500 A	2x MCMK 3x185+95	371 A	556 A	500 A	
<b>18</b>	160 A	AMCMK 3x185+95/57	111 A	214 A	160 A	
<b>19</b>	125 A	AMCMK 3x70+35/21	39 A	122 A	100 A	

<b>20</b>	250 A	AMCMK 3x185+95/57	61 A	214 A	160 A	250 A
<b>21</b>	160 A	AMCMK 3x185+95/57	26 A	214 A	160 A	
<b>22</b>	250 A	AMCMK 4x185/57	101 A	214 A	160 A	125 A
<b>25</b>	80 A	AMCMK 4x70/21	21 A	122 A	100 A	
<b>26</b>	100 A	AMCMK 4x70/21	28 A	122 A	100 A	
<b>Ryhmä</b>	<b>SPK 2 Sulake</b>	<b>Kaapeli</b>	<b>Mitattu virta</b>	<b>Kuormi- tettavuus</b>	<b>Max. sulake</b>	<b>Rk In</b>
<b>3</b>	250 A	AMCMK 3x185+95/57	Ryhmä 3–4 210 A	214 A	160 A	630 A
<b>4</b>	250 A	AMCMK 3x185+95		214 A	160 A	
<b>6</b>	400 A	AMCMK 3x185+95	51 A	214 A	160 A	400 A
<b>7</b>	200 A	AMCMK 3x185+95	46 A	214 A	160 A	200 A
<b>12</b>	500 A	AMCMK 3x185	46 A	214 A	160 A	

Huomionarvoista on se, että useammat ryhmät eivät läpäise liitteessä 1 olevan kaapelinvalmistajan suosituksia. Näitä ryhmiä ovat: 7, 14, 16 sekä sähköpääkeskuksen 2 ryhmät 6 ja 12. Nämä sulakkeet tulee vaihtaa pienemmiksi.

### 6.9.2 Alakeskusten ylikuormitusriskit

Ryhmästä 12 lähtee kaapeli yhdelle alakeskukselle RK 22 sekä tästä keskukselta haaroittuu kaksi muuta keskusta, joille annan nimen RK 22.1 ja RK 22.2. Kaapelit kulkevat seinän pinnalla, jolloin kuormitettavuus kasvaa hieman. Alakeskukselle RK 22 menevä kaapeli on AMCMK 3x185+95/57 ja keskuksen sulake on nimellisvirraltaan 315 A. Tällöin kaapelin kuormitettavuus ei noudata standardia tai kaapelinvalmistajan suositusta. Sulakkeeksi tulisi vaihtaa 200 A

standardin mukaan tai 250 A kaapelinvalmistajan mukaan. Lisäksi keskukselle RK 22.2 menevä kaapeli on AMCMK 3x120+70/21 ja keskuksen sulake on nimellisvirraltaan 250 A. Sulakkeeksi tulisi vaihtaa 160 A standardin mukaan tai 200 A kaapelinvalmistajan mukaan. Mikäli tämän ryhmän tuotantolaitteet ovat päällä samaan aikaan ja sulakkeet mitoitetaan standardin mukaan, on ylikuormitusriski ilmeinen. Kaapelinvalmistajan kuormitettavuuden arvoja noudattaessa asennukset toimivat oikein, mutta laajennusvaraa ei ole lainkaan.

Ryhmästä 13 lähtee kaapeli alakeskuksille RK 31 ja RK 32. Keskukselle RK 31 menevä kaapeli on AMCMK 3x185+95/21 ja keskuksen sulakkeen nimellisvirta on 400 A. Sulakkeeksi tulisi vaihtaa 200 A standardin mukaan tai 250 A kaapelinvalmistajan mukaan. Keskukselle RK 32 menevä kaapeli on AMCMK 3x120+70/21 ja keskuksen sulakkeen nimellisvirta on 250 A. Sulakkeeksi tulisi vaihtaa 160 A standardin mukaan tai 200 A kaapelinvalmistajan mukaan.

## **7 TULEVAISUUDEN INVESTOINNIT**

Tärkein investoinnin kohde tehdasalueella on muuntajan 2 tilojen rakentaminen turvalliseksi uudelleen. Muuntaja on hyvä vaihtaa samalla, sillä ikä alkaa olemaan pitoaikavälin haarukassa. Muuntajaa 2 mitoittaessa on huomioitava mahdollinen tehontarpeen kasvu seuraavalle 50 vuodelle. Tämän muuntajan läheisyyteen ei voi laajentaa uutta hallia, sillä tontin rajat tulevat vastaan.

Lopuksi käydään läpi hallin 3 ja 4 tulevaisuuden tilannetta, jotka ovat tehdasalueen ongelmallisin paikka. Ensimmäisessä skenaariossa kaapelikokoja kasvatetaan sähköpääkeskukselta 1 lähtien ja toisessa skenaariossa hallin 3 lounaiselle kulmalle rakennettaisiin puistomuuntamo.

### **7.1.1 Muuntaja 2 vaihto**

Tämän hetken virrankulutus hallissa 5 on 353 A, jolloin maksimikulutusteho on karkeasti 245 kW. Taulukossa 3 on simuloitu 0,25, 0,5, 0,75 ja 1 prosentin vuosittainen maksimikulutustehon kasvu 50 vuoden päähän.

Taulukko 3. Muuntajan 2 maksimikulutusteho 50 vuoden päästä

Vuosittainen kasvu	0,25 %	0,5 %	0,75 %	1 %
Maksimikulutusteho	277 kW	313 kW	353 kW	399 kW

Riippuen halliin tehtävistä investoinneista on uuden 500 kVA muuntaja järkevin vaihtoehto, jos vuosittainen tehonkasvu jää alle 0,75 %. Mikäli tehonkasvu on yli 0,75 % on syytä harkita 800 kVA muuntajaa.

### 7.1.2 Hallin 3 ja 4 kaapeleiden elinkaarikustannukset

Kaapeleiden uusimista varten sähköpääkeskuksesta 1 joudutaan teollisuusalueen asfalttia rikkomaan, jotta kaapelit saadaan upotettua maahan. Keskukselle RK 22 kaapeli on helpompi vaihtaa, sillä se kulkee seinässä. Taulukossa 4 on laskettu energiakustannukset seuraavilla parametreilla:

- Maksimikulutusteho 160 kW
- Vuosienergia 640 000 kWh
- Pätöteho 2,8 €/kW/kk
- Loisteho 5,8 €/kVAr/kk
- Energia talviarki 3,1 snt/kWh
- Energia muu aika 1,5 snt/kWh
- Energiakustannus 11 snt/kWh
- Tehokerroin 1
- Hinnannousu 0 %

Taulukko 4. Kaapeleiden elinkaarikustannukset

Ryhmä	Pituus	Kaapeli- tyyppi	Kaapelin hinta/km	Ener- gia+teho yh- teensä/v	Takaisin- maksu- aika	Sisäi- nen korke
SPK -> 12	200 m	2x AMCMK 4x240/72	17 600 €	853,9 €		
SPK -> 12	200 m	2x AMCMK 4x300/88	24 100 €	729,4 €	21 v	4 %
12 -> RK22	100 m	AMCMK 4x300/88	24 100 €	650,3 €		
12 -> RK22	100 m	2x AMCMK 4x185/57	16 300 €	523,6 €	7 v	15 %

Laskuista nähdään, että isommalla poikkipinnalla olevat kaapelit tulevat edullisemmaksi, koska takaisinmaksuaika on alle 35 vuotta. Sähköpääkeskukselta 1 vetämällä 2x AMCMK 4x300/88 kaapelin hallin 3 keskukselle ja siitä jatkamalla keskukselle RK 22 kaapelilla 2x AMCMK 4x185/57 saataisiin riittävästi kuormitettavuutta, mutta laajennusvaraa ei ole juurikaan. Kaapelit maksaisivat yhteensä noin 12 900 euroa ja maakaapelioja tavallisella olosuhteella 4420 euroa.

### **7.1.3 Kolmannen muuntajan lisääminen**

Toisena vaihtoehtona olisi kolmannen muuntajan lisäys hallin 3 lounaiselle kulmalle. Virrankulutus halleissa 3 ja 4 on 462 A, jolloin maksimikulutusteho on noin 320 kW. Nykyisissä olosuhteissa muuntajan tarvitsee olla tällöin 800 kVA:n tehoinen. Kyseisellä tontin osalla on laajentamisen mahdollisuuksia, jolloin on pohdittava muuntajan koon kasvattamista, mikäli uusia rakennuksia rakennetaan tulevaisuudessa. Muuntajalle tuleva AHXAMK-W 3x150 Al+35 Cu 20 kV jouduttaisiin niin ikään tuomaan pihan poikki asfaltin rikkomalla. Sähköpääkeskuksella 1 on lähtövaraus, jolloin se ei tarvitse investointeja.

Maakaapelin AHXAMK-W 3x150 Al+35 Cu 20 kV hinta 300 metrille olisi 5850 euroa ja maakaapelioja tavallisella olosuhteella 6630 euroa. Puistomuuntamo kustantaisi 15 400 euroa, johon tulisi jonovarokeytkimiä esimerkiksi 12 kappaletta maksaa yhteensä 5400 euroa. Teholtaan 800 kVA muuntaja kustantaa noin 9900 euroa.

## 8 POHDINTA

Hyödyt ajantasaisesta dokumentoinnista ilmenee huolto- ja kunnossapitotyön helpottumisena sekä nopeutumisenä, sillä nousujohtokaaviosta pystyy näkemään sulakekoot, kaapelityypit ja keskusten nimet. Tasopiirustuksesta nähdään keskusten sijainti teollisuusalueella, jolloin ei mene aikaa keskusten etsimiseen. Asennustapoihin kiinnitettiin huomiota ja kerrottiin parannusehdotuksia, jolloin työturvallisuus paranee tehdasalueella. Selektiivisyyden osalta on tärkeää, että vain rajattu osa teollisuusverkon suojalaitteista reagoivat yli- tai vikavirtaan ja muu osa toimii normaalisti. Vika-alueen rajaamisessa on hyödynä se, että tuotannonmenetykset pystytään minimoimaan. Kaapeleiden ja muuntajan ylikuormariskejä selvittäessä pystytään pohtimaan pitoaikoja ja laajentamista. Pitkiä aikoja ylikuormitustilassa olevien komponenttien käyttöikä alenee ja pahimmassa tapauksessa voi aiheuttaa tulipalon.

Tehdasalueen viiden keskuksen ovea ei voitu avata virrallisena, jolloin alakeskuksille lähtevien kaapeleiden ryhmänumeroita ei voitu tarkistaa keskeyttämättä tuotantoa. Ryhmänumerot voidaan kuitenkin tarkastaa seuraavan huoltokatkon aikana ja dokumentoida ne. Oikosulkuvirtojen osalta pystyttiin mittaamaan vain molempien muuntajien epäedullisimmat keskuksat. Muutoin alussa määritellyt tavoitteet saavutettiin nykyiselle teollisuusverkolle, jossa on huomioitu myös mahdolliset tehokkaammat tuotantolaitteet ja pienet investoinnit tulevaisuudessa.

Työn edetessä tuli selväksi, miten tärkeää on ajantasaiset dokumentit. Jälkeenpäin tehtävä dokumentointi on haastavaa ja aikaa vievää. Huolto ja kunnossapito on haastavampaa puutteellisten dokumenttien takia. Lisäksi vain asennuksia tehtäessä teollisuusverkkoon voi tulla ylikuormitusriskejä ja selektiivisyyden toimimattomuus. Toisena asiana työn tekeminen opetti työturvallisuuden huomioon ottamisen. Työssä tuli vastaan hyvän asennustavan laiminlyönti, jossa keskuksen kannen avatessa esiin tuli mahdollisesti virrallinen johdin aivan vapaana. Tämä osoittaa sen, että on tärkeää noudattaa hyvää asennustapaa ja työturvallisuutta, mutta myös varautua yllättäviin tilanteisiin.

Selvittämättömien ryhmänumeroiden ja mittaamattomien oikosulkuvirtojen lisäksi jatkotutkimuksia kannattaisi tehdä pelkästään pinnalla kulkevien kaapeleiden osalta ylikuormitusriskien lisäkartoitus. Tämä voitaisiin suorittaa lämpökameralla, jolloin kaapelin todellinen lämpötila saataisiin selville ja analysoidaan ylikuormitusriskit. Toisena jatkotutkimuskohteena olisi hallien sähköistysten dokumentointi. Ainakin hallissa 5 olisi tasokuvan ja keskuskuvien piirtäminen ajan tasalle tarpeellinen. Kolmantena tutkimuskohteena on mahdollisten laajennusten suunnittelu, mitoitus ja toteutus. Näissä tutkimuksissa olisi jo riittävästi työtä toiseen opinnäytetyöhön.

Jatkoa ajatellen tässä työssä tehdyt havainnot ja epäkohdat pitää korjata, jolloin tehdasalue on toimiva ja turvallinen. Osa epäkohdista korjattiin välittömästi mutta joitakin on vielä jäljellä. Tämä työ on tehty nykyiselle teollisuusverkolle, jossa on otettu huomioon pienet investoinnit ja siten suurempi tehontarve. Tehdasaluetta mahdollisesti laajentaessa täytyy tehontarpeesta ja tulevaisuuden investoinneista saada tiedot, jonka pohjalta lähdetään suunnittelemaan.



**LÄHTEET**

1. Ansioniemen Sähkö Oy. Etusivu. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://ansioniemensahko.fi/> [viitattu 5.4.2023].
2. Finder.fi. Ansioniemen Sähkö Oy. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.finder.fi/S%C3%A4hk%C3%B6ty%C3%B6t/Ansioniemen+S%C3%A4hk%C3%B6+Oy/Hartola/yhteystiedot/125182> [viitattu 5.4.2023].
3. Cadmatic Oy. Cadmatic ohje.
4. Mäkinen, M. & Kallio, R. Teollisuuden Sähköasennukset. Helsinki: Otava. 2004.
5. SESKO ry. SFS-käsikirja 619. 1. painos. Helsinki: SFS ry. 2015.
6. Sähkö ja teleurakoitsijaliitto STUL ry. Sähköasennukset 4. Helsinki: Sähköinfo Oy. 2010.
7. Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry. D1-2017 käsikirja rakennusten sähköasennuksista. 26. painos. Espoo: Sähköinfo Oy. 2017.
8. Hietalahti, L. Teollisuuden sähkökäytöt. 1. painos. Vantaa: Hansaprint Oy. 2013.
9. Männistö, M., Hietalahti, L., Seesvuori, R., Seesvuori, V. & Wilén, T. Yliaallot ja kompensointi. Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry. Espoo: Sähköinfo Oy. 2006.
10. Kauppila, J. & Ylinen, T. Sähköasennukset 3. 5. uudistettu painos. Espoo: Sähköinfo Oy. 2022.
11. Eurolaite Oy. Monijohdinkaapelit ja oikosulut. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://eurolaite.fi/wp-content/uploads/2021/01/Monijohdinkaapelit\\_ja\\_oikosulut.pdf](https://eurolaite.fi/wp-content/uploads/2021/01/Monijohdinkaapelit_ja_oikosulut.pdf) [viitattu 21.4.2023].
12. Hirvonen, R. Sähköaseman ensiöpuolen suunnittelussa käytettävien laskentamenetelmien kehittäminen. Aalto-yliopisto. Elektroniikan, tietoliikenteen ja automaation tiedekunta. Diplomityö. 2010. PDF-dokumentti. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:NBN:fi:aalto-201203131429> [viitattu 21.4.2023].
13. SESKO ry. SFS-käsikirja 600-1-1. 1. painos. Helsinki: SFS ry. 2017.
14. Burnay, S.G. ym. Pilot study on the management of ageing of instrumentation and control cables. Vienna: IAEA. 1995. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.iaea.org/publications/5584/pilot-study-on-the-management-of-ageing-of-instrumentation-and-control-cables> [viitattu 2.5.2023].

15. Energiavirasto. Sähkön jakeluverkko toiminta. PDF-dokumentti. 2021. Saatavissa: [https://energiavirasto.fi/documents/11120570/12766832/Liite\\_2\\_Valvontamenetelm%C3%A4t\\_S%C3%A4hk%C3%B6jakelu\\_p%C3%A4ivitetty\\_22.pdf/82887397-969e-431b-36c9-412d566f19f7/Liite\\_2\\_Valvontamenetelm%C3%A4t\\_S%C3%A4hk%C3%B6jakelu\\_p%C3%A4ivitetty\\_22.pdf?t=1647522665452](https://energiavirasto.fi/documents/11120570/12766832/Liite_2_Valvontamenetelm%C3%A4t_S%C3%A4hk%C3%B6jakelu_p%C3%A4ivitetty_22.pdf/82887397-969e-431b-36c9-412d566f19f7/Liite_2_Valvontamenetelm%C3%A4t_S%C3%A4hk%C3%B6jakelu_p%C3%A4ivitetty_22.pdf?t=1647522665452) [viitattu 2.5.2023].
16. Palokatkomiehet Oy. Palokatkot. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.palokatkomiehet.fi/palokatkot> [viitattu 2.5.2023].
17. Hietalahti, L. Muuntajat ja sähkökoneet. Vantaa: Hansaprint Oy. 2011.
18. Korpinen, L. Muuntajat ja sähkölaitteet. PDF-dokumentti. Saatavissa: [http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt\\_opus/9muuntajat\\_ja\\_sahkolaitteet.pdf](http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt_opus/9muuntajat_ja_sahkolaitteet.pdf) [viitattu 2.5.2023].
19. SESKO ry. SFS-käsikirja 601:2018. 3. painos. Helsinki: SFS ry. 2018.

**KUVALUETTELO**

Kuva 1. Senaattikiinteistöjen piirustus pohja

Kuva 2. TN-S-jakelujärjestelmän rakenne (DIGMA s.a)

Kuva 3. IT-jakelujärjestelmän rakenne (DIGMA s.a)

Kuva 4. Keskitetty jakelu (Hietalahti, L.)

Kuva 5. Porrastettu jakelu (Hietalahti, L.)

Kuva 6. Hajautettu jakelu (Hietalahti, L.)

Kuva 7. Tekniikan käsikirja 3. Sähkötekniikka. 8. painos. Jyväskylä: K.J Gummerus Osakeyhtiö. 1973.

Kuva 8. HT COMBI 420 (hedengren s.a)

Kuva 9. 1600 kVA kuivamuuntajan arvokilpi

Kuva 10. 500 kVA öljyeristeisen muuntajan arvokilpi

Kuva 11. FLUKE A3001FC (Yleiselektronikka s.a)

**TAULUKKOLUETTELO**

Taulukko 1. ABB. TTT-käsikirja 2000-07. Luku19: Sähköjohtojen mitoittaminen. PDF-dokumentti. Julkaistu 07-2000. Saatavissa: [https://heikkilaakso.com/opetus/abb/191\\_0007.pdf](https://heikkilaakso.com/opetus/abb/191_0007.pdf) [viitattu 20.4.2023]

Taulukko 2. Teollisuusalueen sulake-, kaapeli- ja virtatietoja

Taulukko 3. Muuntaja 2 maksimikulutusteho 50 vuoden päästä

Taulukko 4. Kaapeleiden elinkaarikustannukset

## LIITTEET

## LIITE 1. AMCMK voimakaapelien kuormitettavuus ja terminen oikosulkukestoisuus (Draka)

Johtimien lukumäärä ja poikkipinta n x mm <sup>2</sup>	Kuormitettavuus		Suurin sallittu terminen 1s oikosulkuvirta	
	Maassa 3) johdin 70°C	Vapaasti ilmassa 4) johdin 70°C	sisäjohdin 5)	konsentritinen johdin
	A	A	kA	kA
AMCMK 3x16/10 AN	78	65	1,2	1,7
AMCMK 3x25/16 AN	100	83	1,8	2,7
AMCMK 3x35/16 AN	125	102	2,6	2,7
AMCMK 3x50/15 AN	150	124	3,6	2,6
AMCMK 3x70/21 AN	185	159	5,1	3,7
AMCMK 3x95/29 AN	220	194	6,9	4,6
AMCMK 3x120/41 AN	255	225	8,7	6,7
AMCMK 3x150/41 AN	280	260	10,8	6,7
AMCMK 3x185/57 AN	330	297	13,3	8,8
AMCMK 3x240/72 AN	375	350	17,3	11,4
AMCMK 3x300/88 AN	430	404	21,6	13,9
AMCMK 4x16/10 AN	78	65	1,2	1,7
AMCMK 4x25/16 AN	100	83	1,8	2,7
AMCMK 4x35/16 AN	125	102	2,6	2,7
AMCMK 4x50/16 AN	150	124	3,6	2,7
AMCMK 4x70/21 AN	185	159	5,1	3,7
AMCMK 4x95/29 AN	220	194	6,9	4,6
AMCMK 4x120/41 AN	255	225	8,7	6,7
AMCMK 4x150/41 AN	280	260	10,8	6,7
AMCMK 4x185/57 AN	330	297	13,3	8,8
AMCMK 4x240/72 AN	375	350	17,3	11,4
AMCMK 4x300/88 AN	430	404	21,6	13,9

## LIITE 2. Teollisuusalue

