

---

# TEOLLISUUDEN SÄHKÖNJAKELUVERKON MALLINTAMINEN

---

Heikki Lyytikäinen

Opinnäytetyö

Ammattikorkeakoulututkinto



Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma Sähkötekniikan koulutusohjelma	
Työn tekijä(t) Heikki Lyytikäinen	
Työn nimi Teollisuuden sähköjakeluverkon mallintaminen	
Päiväys 3.11.2011	Sivumäärä/Liitteet 69/1
Ohjaaja(t) DI Risto Rissanen, projekti-insinööri Henrik Sikanen	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Savonia-ammattikorkeakoulu	
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli saada rakennettua järjestelmä, joka mallintaa mahdollisimman to- tuudenmukaisesti teollisuuden sähköjakelua. Teollisuuden sähköjakelua mallintava järjestelmä on Savonia-ammattikorkeakoulun Kuopion yksikön sähkölaboratorioon toteutettu pienjännitteise- nä. Uusi järjestelmä on rakennettu jo olemassa olevan verkkomalli nimisen laboratoriotyön rinnal- le. Opinnäytetyössä rakennettua teollisuusverkkomallia on tarkoitus myöhemmin käyttää opetus- tarkoituksessa. Työn tilaajana toimi Savonia-ammattikorkeakoulu.</p> <p>Opinnäytetyön ensimmäinen vaihe oli kaapeloinnin sekä erilaisten kytkentöjen ja kytkentämuutos- ten suunnittelu sekä oikosulkuvirtojen laskenta, mittaus sekä arviointi. Työn seuraava vaihe oli sopivien komponenttien löytäminen työn toteuttamista varten. Työn lopullisessa toteutuksessa on myös käytetty mahdollisimman paljon kierrätysmateriaalia komponenttien valinnassa sekä kaape- loinnissa ja johdotuksessa. Toteutetussa opinnäytetyössä vanha verkkomalli ja uusi verkkomalli käyttävät samaa relettä, joten molempien töiden rinnankäyttö ei ole mahdollista.</p> <p>Opinnäytetyön tulokset vastasivat työlle asetettuja tavoitteita. Ongelmaksi muodostui ilmakatkaisi- jan toiminnan epävarmuus ja se, että vanhan verkkomallin releasettelut eivät sellaisenaan sopi- neet yksiin uuden järjestelmän kanssa, koska uuden järjestelmän käyttämät virta-arvot ovat paljon suuremmat kuin vanhan verkkomallin. Kehittämiskohteeksi työssä jäi näin ollen verkkomallien johtosuojana toimivan releen eli kennotermiinalin asetteluarvojen hakeminen oikeiksi käytännön kokeilla sekä laskennalla. Nämä rajattiin kuitenkin opinnäytetyön ulkopuolelle ja työn kehittäminen päätettiin jättää myöhemmin toteutettavaksi projektityöksi.</p>	
Avainsanat sähköjakelu, sähköverkot, teollisuusverkot, sähköverkon suojaustavat	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Electrical Engineering			
Author(s) Heikki Lyytikäinen			
Title of Thesis Modeling of Industrial Electrical Distribution Network			
Date	3 November 2011	Pages/Appendices	69/1
Supervisor(s) Mr Risto Rissanen, Laboratory Engineer, Mr Henrik Sikanen, Project Engineer			
Project/Partners Savonia University of Applied Sciences			
<p>Abstract</p> <p>The aim of the thesis was to build a system, which models as truthfully as possible the industrial electricity distribution. The industrial electricity distribution modeling system was implemented in the electricity laboratory as a low-voltage to Kuopio unit of Savonia University of Applied Sciences. The new system was built alongside with an existing laboratory work. That laboratory work is called network model. The industrial network model built in this thesis is intended to be used later for educational purposes as a laboratory work. The thesis was commissioned by Savonia University of Applied Sciences.</p> <p>The first phase of the thesis was the planning of the cabling, different switching and changes in switching, as well as calculation, measurement and evaluation of short-circuit currents. Secondly suitable components for the execution of the work were considered. In the final implementation of the thesis as much as possible recycled material in components, cabling and wirings were used. The old network model and the new network model use the same relay so the parallel operation of these two networks is not possible.</p> <p>The results of this thesis met the targets that were set. One problem was the operation of the air circuit breaker, because the relay settings in the old system were not in line with the new system. This is because the current values between the old system and the new system are so different. The new system uses much higher current values than the old system. A further development of this thesis will be to find the right values and settings for the feeder terminal which protects these two networks. These points were excluded from the thesis and it was decided to leave the development to be implemented later as a project work.</p>			
<p>Keywords</p> <p>electricity supply, grid, industrial networks, grid security methods</p>			

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	6
2	ENERGIANTUOTANTO TEOLLISUUDESSA.....	7
3	SÄHKÖN SIIRTO JA JAKELU .....	9
3.1	Sähkön siirrossa käytettävät jännitetasot .....	9
3.2	Teollisuuden sähkönjakelun varmentaminen .....	12
3.3	Jakelujärjestelmät.....	14
3.3.1	Jännitteisten johtimien järjestelmät .....	14
3.3.2	Jakelujärjestelmien maadoitustavat .....	14
3.3.3	TN-S-järjestelmä .....	15
3.3.4	TN-C-järjestelmä .....	16
3.3.5	TN-C-S-järjestelmä.....	17
3.3.6	IT-järjestelmä .....	18
3.3.7	Jakelujärjestelmien yhdistäminen .....	21
4	TEOLLISUUDEN SÄHKÖNJAKELU SEKÄ TEOLLISUUSVERKOT .....	23
4.1	Yleistä teollisuuden sähkönjakelusta .....	23
4.2	Teollisuuden sähkönjakeluverkon ominaisuudet .....	24
4.3	Sähköverkkojen rakennevaihtoehdot .....	26
4.3.1	Säteittäinen verkko.....	26
4.3.2	Rengasverkko .....	26
4.3.3	Silmukoitu verkko .....	27
4.4	Teollisuusverkon ja jakeluverkon eroavaisuudet .....	27
5	TEOLLISUUDEN SÄHKÖLAITTEISTO .....	28
5.1	Muuntajan rakenne.....	28
5.2	Muuntajien kytkentäryhmät.....	28
5.3	Muuntajien suoja- ja valvontalaitteet sekä lisävarusteet.....	30
5.4	Kiskosillat sekä kiskostot .....	32
5.5	Suurvirtakaapelit.....	35
5.6	Keskukset.....	36
5.6.1	Kennokeskukset.....	37
5.6.2	Kotelokeskukset .....	41
5.6.3	Kaappikeskukset .....	42
6	SÄHKÖVERKON SUOJAUSRAKENTEITA.....	44
6.1	Sulakesuojaus .....	44
6.2	Relesuojaus.....	46
6.2.1	Ylivirtarele .....	46
6.2.2	Vakioaikaylivirtarele.....	47

6.2.3	Valokaarirele .....	48
6.3	Suojaus kytkimellä tai katkaisijalla .....	49
6.3.1	Kuormankytkin.....	49
6.3.2	Katkaisijat.....	50
6.3.3	Ilma- ja kompaktikatkaisijat.....	50
7	MAADOITUS JA MAASULKUTILANTEET .....	51
7.1	Teollisuuden maadoitukset .....	51
7.2	Maadoituksen tarkoitus.....	51
7.3	Maasulku .....	52
7.4	Kaksoismaasulku.....	52
8	OPINNÄYTETYÖN TOTEUTUS.....	54
8.1	Verkkomalli sekä moottorilähtökeskus .....	54
8.2	Työn suoritus.....	55
8.3	Vanha verkkomalli .....	56
8.4	ABB-MLK-moottorilähtökeskus .....	57
8.5	Suoritettut muutostyöt.....	57
8.5.1	Muutostyöt sähköpääkeskuksissa .....	58
8.5.2	Muutostyöt johtoreiteissä .....	61
8.5.3	Muutostyöt verkkomallissa sekä sen kytkennässä .....	62
8.5.4	Moottorilähtökeskuksen vaatimat asennustyöt.....	64
9	JOHTOPÄÄTÖKSET .....	67
	LÄHTEET.....	68
	LIITTEET	
	Liite 1 Johdotuskaavio	

## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tarkoituksena oli kehittää sähköjakelulaboratoriossa sijaitsevaa Verkkomalli-nimistä laboratoriotyötä. Aikaisemmin laboratoriossa on voitu simuloida haja-asutusalueen sähköjakelua ja siinä esiintyviä vikatilanteita. Opinnäytetyön tarkoituksena oli rakentaa tämän järjestelmän rinnalle uusi järjestelmä, jolla voidaan kuvata myös teollisuuden sähköjakelua sekä teollisuusverkoissa esiintyviä vikatilanteita. Tulevaisuudessa simulaattorihuoneessa pystytään tekemään kaksi erilaista laboratoriotyötä, joista toinen mallintaa keskijännitejakelua haja-asutusalueella ja toinen työ keskittyy teollisuuden sähköjakeluun.

Kehittäminen toteutetaan suunnittelemalla ja rakentamalla vanhan verkkomallin rinnalle toinen sähköverkkoa mallintava verkkomalli, jossa otetaan käyttöön myös samassa huonetilassa sijaitseva ABB:n valmistama moottorilähtökeskus. Uudella järjestelmällä mallinnetaan teollisuuden sähköjakeluverkkoa ja suurempia oikosulkuvirtoja.

Opinnäytetyön alkuosassa keskitytään teollisuuden sähköenergian jakeluun, erilaisiin jakelujärjestelmiin sekä sähköverkon suojausrakenteisiin Opinnäytetyön loppuosassa esitellään verkkomalli, sen suojausrakenne sekä kerrotaan laajennuksen toteuttamisesta eli varsinaisesta opinnäytetyöstä.

## 2 ENERGIANTUOTANTO TEOLLISUUDESSA

Teollisuus tarvitsee prosesseihinsa lämpö- tai sähköenergiaa, joka tuotetaan pääasiassa tehdaslaitosten yhteydessä. Normaalisti energiaa tuotetaan teollisuudessa lämmön ja sähkön yhteistuotantona. Prosesseissa syntyvä lämpö pyritään teollisuudessa hyödyntämään mahdollisimman tehokkaasti. Prosesseista syntyvä sekundäärilämpö saattaa poltto- sekä raaka-aineiden sisältämän energian lisäksi olla peräisin esimerkiksi hiomon tai hiertämön käyttämästä sähköstä. Sekundäärilämpöä on hyödynnetty lisäksi kaukolämpönä yhdyskunnissa. Teollisuuden reaktiolämmöksi kutsutaan puolestaan sitä lämpöä, jota syntyy sivutuotteena, kun raaka-aineet eksotermisessä kemiallisessa reaktiossa luovuttavat lämpöä teollisuusprosessissa. Raaka-aineista, esimerkiksi rikistä tai ammoniakista, vapautuvaa lämpöä ei sisällytetä varsinaisten polttoaineiden kulutukseen. Suomessa käytettiin vuonna 2002 tuotetusta reaktiolämmöstä noin 6300 TJ ja sähköntuotannossa tästä määrästä hyödynnettiin 900 TJ.(VTT 2004, 270.)

Tehtaiden lisälämmöntarve on kuitenkin muodostunut usein niin suureksi, että on ollut kannattavaa yhdistää lämpöenergian tuotantoon myös sähköenergian tuotantoa käyttämällä vastapainevoimalaitosprosessia. Teollisuudesta on näin muodostunut Suomessa valtakunnallisesti merkittävä sähköenergian tuottaja. Teollisuuden sähköenergian yhteistuotanto oli vuonna 2002 yhteensä 12,3 TWh. Määrä vastaa 28 %:a teollisuuden sähköenergian kulutuksesta. Teollisuuden kattaa puolet kuluttamastaan polttoaineesta prosessien yhteydessä syntyvillä sivutuotepolttoaineilla. (VTT 2004, 270.)

Metsäteollisuudessa syntyy paljon polttoaineiksi kelpaavia puuperäisiä sivutuotteita, joita ovat mustalipeä, puunkuorintajäte, muu puujäte sekä hake. Metsäteollisuuden tehdasvoimalaitoksien polttoainekäytöstä puuperäisten polttoaineiden osuus on noin 72 %. Viime vuosina kivihiilen ja raskaan polttoöljyn osuutta on korvattu biopolttoaineilla sekä maakaasulla. (VTT 2004, 270.)

Malmipohjaisessa teräksen ja raudan valmistuksessa syntyy koksamoilla ja masuuneilla polttokelpoisia prosessikaasuja. Nämä kaasut hyödynnetään polttoaineena teräksen valmistuksen muissa prosesseissa, kuten koksamolla, sintraamolla teräsulatolla, kalkin poltossa, nauha- ja levyvalssaamoiden uuneissa ja masuunin ilman esilämmityksessä sekä sähkön tuotannossa voimalaitosten höyrykattiloissa. Esimerkiksi Raahen terästehtaan oma sähköntuotanto kattaa noin 60 % tehtaan tarvitse-

masta sähköstä, jolloin ostopolttoaineiden osuus tehtaan energiantarpeesta jää varsin vähäiseksi. (VTT 2004, 270.)

Myös kemianteollisuudessa syntyy sivutuotekaasuja, joita voidaan käyttää prosessipolttoaineina sekä polttaa tehtaiden voimalaitoskattiloissa. Sivutuotepolttoaineista tärkeimmät ovat vety sekä öljynjalostamoilla jalostamokaasut. Jalostamokaasuja käytetään jalostamalla lukuisissa prosessiuuneissa sekä kattiloissa. Rikki- ja typpihapon valmistuksessa korkeapaineiset jätelämpökattilat tuottavat höyryä, jota hyödynnetään sähköntuotannossa. (VTT 2004, 270.)

Teollisuuden prosesseissa syntyy merkittävä määrä sekundäärilämpöä, joka on lämpötilatasoltaan varsin korkea. Talteen otettua jätelämpöä käytetään usein tehdaskiinteistöjen lämmittämiseen sekä sillä lämmitetään myös raaka-aineiden syötevirtoja ja paikoin se hyödynnetään yhdyskuntien kaukolämpönä. (VTT 2004, 270.)

### 3 SÄHKÖN SIIRTO JA JAKELU

#### 3.1 Sähkön siirrossa käytettävät jännitetasot

##### *Suurjännite*

Suurjännitteellä tarkoitetaan jännitettä jonka suuruus on 110 kV tai enemmän. Suurjännitettä käytetään sähkön siirrossa kantaverkossa, johon ovat liittyneet suuret voimalaitokset ja tehtaot sekä alueelliset jakeluverkot. Nämä muodostavat rungon sähkön siirrolle. Suomen kantaverkosta vastaa ja sen omistaa verkkoyhtiö Fingrid Oyj. Kantaverkon jännitetasoina käytetään 400 kV:a, 220 kV:a ja 110 kV:a. Käytettävä jännitetaso määräytyy siirrettävän tehon sekä siirtomatkan perusteella. Käytettäessä suurta jännitettä saadaan virta mahdollisimman pieneksi ja sähkönsiirtohäviöt kohtuullisiksi. Fingrid Oyj:llä on suurjännitteisiä voimajohtoja yhteensä noin 14 000 km. Kantaverkosta on yhteydet naapurimaiden sähköverkkoihin, sähkön tuonnin ja viennin mahdollistamiseksi. (Rouvali 2010.)

Vain tärkeimmät 110 kV johdoista kuuluvat kantaverkkoon ja suurin osa 110 kV johdoista kuuluu alueverkkoihin. Alueverkoksi kutsutaan alueellista suurjänniteverkkoa tai johtoa. Se muodostuu kantaverkkoon kuulumattomista, vähintään 110 kV verkosto-osista ja käsittää siis valtaosan kaikista 110 kV johdoista. Alueverkon omistavat eri sähköyhtiöt. (Rouvali 2010.)

##### *Keskijännite*

Keskijännitteellä tarkoitetaan jännitettä joka on suuruudeltaan 1 kV - 35 kV. Yleensä keskijännitteisellä jakeluverkolla tarkoitetaan 20 kV jännitetasoa, koska Suomessa keskijänniteverkossa käytetään yleisimmin juuri tätä jännitettä. Keskijänniteverkko on liitetty sähköaseman kautta kanta- tai alueverkkoon. Suuret kiinteistöt ja laitokset voivat olla liittyneenä sähköverkkoon myös keskijännitteellä. Sähkö toimitetaan niille 20 kV jännitteellä ja muunnetaan kiinteistömuuntajalla pienjännitteeksi. Liityntä sähköverkkoon suuremmalla jännitteellä on järkevää silloin, kun tehonkulutus on suurta. (Rouvali 2010.)

Joissakin kaupungeissa käytetään myös jännitetasoja 1 kV, 6 kV ja 10 kV. Esimerkiksi Suur-Savon Sähkö Oy on rakentanut kokeilukäyttöön kolmiportaista jakeluverkkoa, jossa 20 kV keskijänniteverkosta siirretään sähköä kuluttajalle 1 kV jännitteellä. 1 kV jännite muunnetaan kuluttajalle 1000/400 V muuntajalla. Lisäkustannuksia tässä ai-

heuttaa kuitenkin ylimääräinen muuntaja. 1 kV sähköverkkoja rakennetaan erityisesti harvaan asutuille alueille. Edelleen on käytössä harvinaisia 30 kV ja 45 kV jännite-  
tasoisia johtoja. Nämä eivät enää nykyisen määritelmän mukaan kuulu alueverkkoon.  
(Rouvali 2010.)

### *Pienjännite*

Pienjännitteellä tarkoitetaan jännitettä jonka suuruus on 50 V – 1000 V, vaihtojännitettä. Tavalliselle kuluttajalle ja sähkön käyttäjälle tämä on kaikista tutuin jännitetaso. Asuinkiinteistöissä käytetään jännitteenä 400 V, joka on pääjännite. Pääjännite on kahden vaihejohtimen välinen jännite. Pääjännitteestä saadaan kuluttajien paremmin tuntema vaihejännite 230 V, jakamalla pääjännitteen arvo  $\sqrt{3}$ :lla. Pienjänniteliityntä sähköverkkoon on sopivin vaihtoehto suurimmalle osalle sähkökäyttäjistä, koska tavallisten sähkölaitteiden käyttöjännitteet ovat 400 / 230 V. (Rouvali 2010.)

### *Pienoisjännite*

Kun puhutaan alle 50 V vaihtojännitteestä tai alle 120 V tasajännitteestä tarkoitetaan pienoisjännitettä, eli (ELV = Extra Low Voltage). Pienoisjännitteisiin kuuluvat SELV -järjestelmä (Safety ELV = turvallinen pienoisjännite), PELV -järjestelmä (Protected ELV = suojaava pienoisjännite) sekä FELV -järjestelmä (Functional ELV = toiminnallinen pienoisjännite) Järjestelmistä käytetään myös nimitystä suojajännite. Monet laitteet käyttävät pienoisjännitettä, esimerkiksi matkapuhelimien laturit, jouluvalosarjat ja sähkötoimiset lelut. Pienoisjännitteiset sähkölaitteet kytketään normaalisti pistotulppaliitännällä. Laitteiden pistotulpassa on kuitenkin muuntaja, joka muuntaa pistorasian 230 V jännitteen laitteelle sopivaksi pienoisjännitteeksi. Laitteet ovat virta-arvoiltaan pieniä ja laitteiden käyttöjännite jää muuntajan ansiosta niin pieneksi, etteivät sen jännitteiset osatkaan aiheuta hengenvaaraa. (Rouvali 2010.)

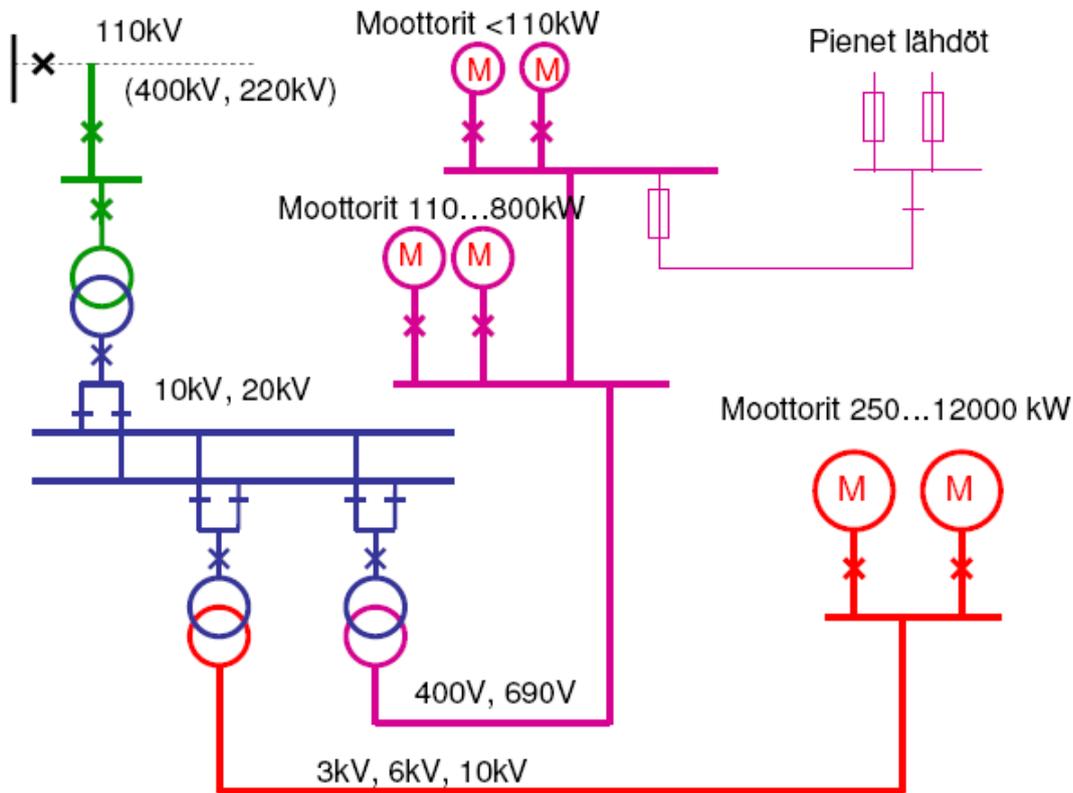
### *Teollisuuden käyttämät jännitetasot*

Teollisuuden sähkönjakelujärjestelmän osiin kuuluvat liityntä yleiseen sähköverkkoon, (kanta-, alue-, keskijännite-, tai pienjänniteverkkoon), keskijännitejakelu sekä käytösähkön jakelu kulutuskohteille. Teollisuudessa käytettävät jännitetasot poikkeavat jonkin verran siitä mitä käytetään sähkön siirrossa ja jakelussa. Se, millä jännitteellä teollisuuslaitos on liittynyt sähköverkkoon, riippuu teollisuuslaitoksen koosta sekä sen käyttämästä tehosta. Yleensä teollisuuslaitokset liittyvät sähköverkkoon 110 kV, 20 kV, 10 kV tai 0,4 kV jännitetasolla. Suuret laitokset, joissa tarvitaan suurta tehoa (10

MW tai enemmän) liittyvät sähköverkkoon yleensä 110 kV jännitetasoon. Pienempi-tehoisissa laitoksissa riittää joko 20 kV, 10 kV tai 0,4 kV jännitetaso. Suurissa teollisuuslaitoksissa on lisäksi omaa voimantuotantoa, jolla katetaan osa laitoksen tarvitsemasta sähköstä. (Rouvali 2010.)

Moottorit ovat teollisuudessa ylivoimaisesti suurin sähkön kuluttaja. Suomessa käytetään moottorijännitteinä 10 kV, 6 kV, 3 kV, 690 V ja 400 V. Yleisimmin käytetty jännitetaso, varsinkin pienissä ja keskisuurissa teollisuuslaitoksissa on 400 V. Käytettävän moottorijännitteen valintaan vaikuttavat tärkeimmät tekijät ovat laitoksen huipputeho, suurimpien moottoreiden teho, tehoalueen laajuus, laitoksessa käyttöön valitut jännitetasot sekä jakelumuuntajan oikosulkuteho. Suurten moottoreiden käynnistäminen aiheuttaa jännitteenalenemaa ja tämä ei saa aiheuttaa haittaa verkon muiden laitteiden toiminnalle. (Rouvali 2010.)

Teollisuuslaitoksessa voidaan jakelujännitteenä käyttää yhtä tai useampaa jännitetasoa. Pääjakelujännitteeksi määritellään se jännitetaso, jolla sähkönjakelu pääosin tapahtuu ja johon jakelumuuntajat ovat pääosin liitetty. Yleensä käytetään pääjakelujännitteenä 6 kV, 10 kV tai 20 kV. Pienen laitoksen tapauksessa, jossa liittymisjännite sähköverkkoon on 400 V, on tämä myös luonnollisesti pääjakelujännite. Opinnäytetyössä käsitellään teollisuuden sähkönjakeluverkkoa sekä sen rakennetta laajemmin kappaleessa 4. (Rouvali 2010.)



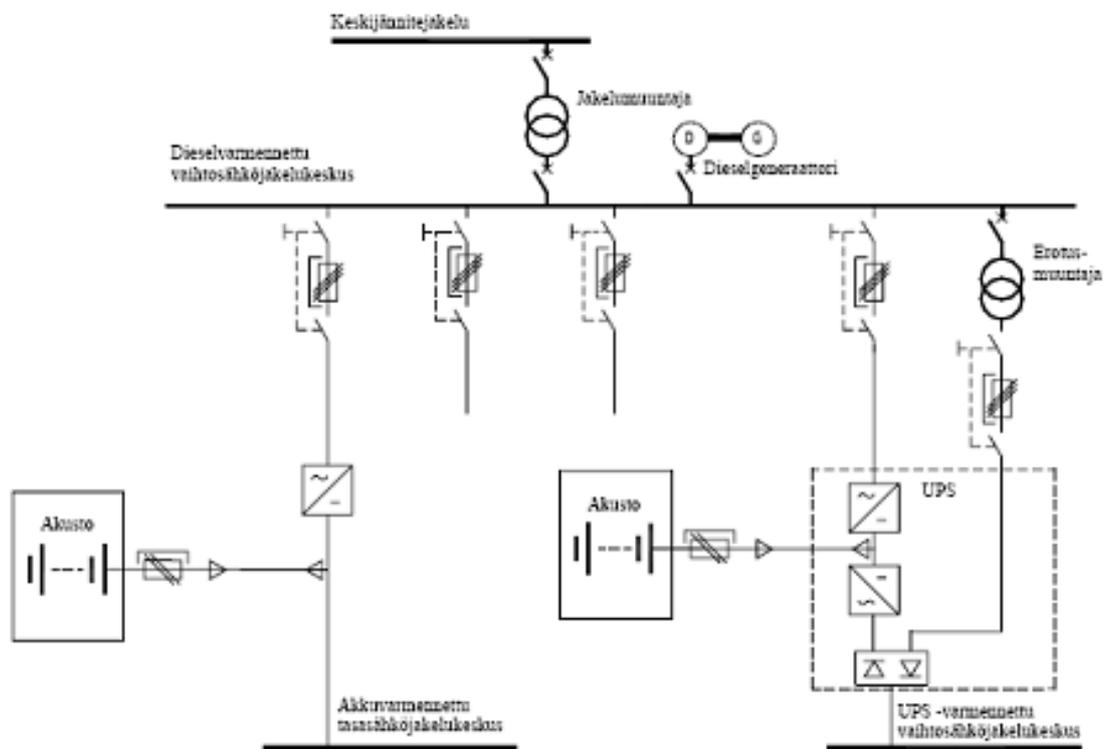
KUVA1. Teollisuuslaitoksen eri jännitetasoja (Rytkönen 2009).

### 3.2 Teollisuuden sähköjakelun varmentaminen

Teollisuudessa käyttösähkön jakelu kulutuskohteisiin jaetaan tavallisesti eri osiin, kuten tuotannon sähköjakelu, valaistus- ja huoltosähköverkko sekä apusähköjärjestelmä. Apusähköjärjestelmä on varmennettu järjestelmä, jotta tärkeät toiminnot saadaan ylläpidettyä myös sähköjakelun keskeytyessä. Varmentaminen on toteutettu yleensä diesel-generaattoreilla sekä akkuvarmennetuilla tasasähköjärjestelmillä sekä akkuvarmennetuilla vaihtosähköjärjestelmillä eli UPS -järjestelmillä. Varavoimaverkko toimivan apusähköjärjestelmän on kyettävä havaitsemaan sähköjakelun keskeytykset automaattisesti ja varasähkönsyötön on käynnistytävä muutamien sekuntien kuluttua sähköjakelun keskeytyksestä tai jopa ilman minkäänlaista katkosta. Tämä on tärkeää, jotta käynnissä oleva prosessi ei keskeydy tai vältytään henkilövahinkojen syntymiseltä. (Rissanen 2010.) Esimerkiksi sähkönsyöttö palovesipumpuille täytyy olla erillisen dieselvarmennetun järjestelmän takana, jotta tulipalon sattuessa sähköjakelun keskeydyttyä saadaan sammutusvesijärjestelmä otettua käyttöön. (Rytkönen 2009).

Varavoimaverkon käyttövarmuus ilmenee siitä, onko kuormitukselle sopivaa sähköä saatavilla jatkuvasti. Käyttövarmuuteen vaikuttavat kaikki osa-alueet, joita ovat verkosyöttö, varavoimalaitos apujärjestelmineen sekä siltä vaadittava käytettävyytluku. varavoimaverkon rakenne, huolto ja ylläpito, kuormien ominaisuudet ja turvasyöttöjärjestelmien vaatimukset. Sähkön laatu sekä sille asetetut vaatimukset ja sallittavat poikkeamat ovat myös suuressa roolissa, kun suunnitellaan kulloinkin toteutettavaa varavoimajärjestelmää. (Rissanen 2010.)

Varmennettujen sähkönjakelujärjestelmien erilaisista toteutustavoista on olemassa lukuisia esimerkkejä ja varmennettuja sähkönjakelujärjestelmiä koskee aivan omat, niille asetetut standardit sekä määräykset.



KUVA 2. Tehtaan varmennettu sähkönjakeluverkko. Verkko on jaettu dieselvarmennettuun verkkoon, akkuvarmennettuun tasasähköverkkoon sekä akkuvarmennettuun vaihtosähköverkkoon (UPS) (Rissanen 2010).

### 3.3 Jakelujärjestelmät

#### 3.3.1 Jännitteisten johtimien järjestelmät

Jännitteisten johtimien järjestelmässä voidaan käyttää seuraavanlaisia järjestelmiä:

Vaihtojännitteellä:

- yksivaihejärjestelmä (yksivaiheisissa sähkömoottoriasennuksissa sekä valaisin- ja pistorasia-asennuksissa)
- kaksivaihejärjestelmä (esimerkkinä ohjausjännitemuuntajien kytkennät)
- kolmivaihejärjestelmä (kolmivaiheisissa sähkömoottoriasennuksissa) (Mäkinen, Kallio 2006, 8-10.)

Järjestelmiin voi sisältyä nolla- tai keskipistejohdin tai järjestelmät voivat myös olla ilman näitä johtimia.

Tasajännitteellä:

- kaksijohtiminen järjestelmä (varavalaistuksen syöttöjärjestelmä)
- kolmijohtiminen järjestelmä (joissakin automaatiotekniikan sovelluksissa) (Mäkinen, Kallio 2006, 8-10.)

#### 3.3.2 Jakelujärjestelmien maadoitustavat

Pienjännitteisen vaihtosähkö jakelujärjestelmän maadoitustapa ilmoitetaan kahden kirjaimen kirjainyhdistelmällä, sekä tarvittaessa lisäkirjaimella.

Ensimmäinen kirjain ilmaisee järjestelmän maadoitustavan, jolla tarkoitetaan jakelumuuntajan alajännitepuolen maadoitustapaa.

T = Yksi piste on yhdistettynä suoraan maahan.

I = Yksi piste on yhdistetty maahan impedanssin kautta tai vaihtoehtoisesti kaikki jännitteiset osat on eristetty maasta

Toinen kirjain ilmaisee sähkölaitteiston jännitteelle alltiiden osien maadoitustavan.

T = Jännitteelle alltiit osat on yhdistettynä galvaanisesti suoraan

maahan, riippumatta jakelujärjestelmän maadoitustavasta.

N = Jännitteelle alttiit osat on yhdistetty jakelujärjestelmän maadoitettuun pisteeseen, yleisimmin tähtipisteeseen. (Mäkinen, Kallio 2006, 9.)

Mahdolliset lisäkirjaimet kertovat nollajohtimen sekä suojamaadoitusjohtimen keskinäisen järjestelyn.

S = Järjestelmässä on erilliset nolla- ja suojamaadoitusjohtimet, eli N, ja PE.

C = Järjestelmän nolla- ja suojamaadoitusjohtimet on yhdistetty yhdeksi johtimeksi, eli PEN-johtimeksi. (Mäkinen, Kallio 2006, 9.)

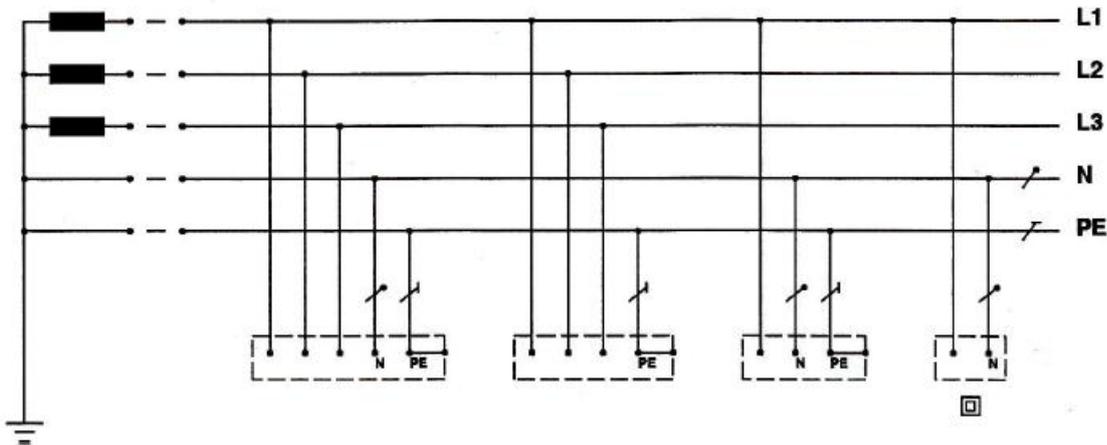
### 3.3.3 TN-S-järjestelmä

TN-S-järjestelmässä käytetään koko järjestelmän osalta nollajohtimesta erillään olevaa suojamaadoitusjohdinta. TN-S-järjestelmässä nollajohdinta käytetään yleisesti rakennusten sähköasennuksissa, mutta esimerkiksi teollisuudessa moottorikäytöissä, sekä muissa sellaisissa kuormitustilanteissa, joissa kuormitus on symmetristä tai yliaaltoja ei esiinny, voidaan nollajohdin jättää pois tarpeettomana. (Suomen sähkö- ja teleurakoitsijaliitto 2009, 60–67.)

Suomessa on käytetty normaaleissa kiinteistöissä TN-C-S -järjestelmää. Sähköturvallisuusmääräykset (A1-89), jotka astuivat voimaan vuonna 1989, edellyttävät, että kaikilla johdinpoikkipinnoilla käytetään TN-S-järjestelmää muissa kuin asuinrakennuksissa. Rakennusten sähköasennusmääräykset (A2-94) eivät kuitenkaan edellytä yhtä laajaa TN-S-järjestelmän käyttöä. Rakennusten sähköasennusmääräysten (A2-94) mukaan kiinteästi asennetuissa johdoissa, joiden poikkipinta-ala on vähintään 10mm<sup>2</sup> kuparia tai 16mm<sup>2</sup> alumiinia voidaan TN-järjestelmissä käyttää yhteistä nolla- ja suojajohdinta. Tämä edellyttää kuitenkin, ettei asennuksen osaa ole suojattu vika-virtasuojajakytkimellä. (Suomen sähkö- ja teleurakoitsijaliitto 2009, 60–67.)

Tiloja sekä asennuksia, joissa on pakollista käyttää TN-S-järjestelmää kaikilla johdinpoikkipinnoilla, ovat lääkintätilat, räjähdysvaaralliset tilat, palovaaralliset tilat sekä taipuisat liitäntäjohdot. Paljon elektroniikkalaitteita sisältäviin tiloihin suositellaan TN-S-järjestelmää, koska sähköverkon aiheuttamat häiriöt ovat TN-S-järjestelmässä oleellisesti pienemmät kuin TN-C-S-järjestelmässä. (ABB 2000,102.)

Kolmivaiheisessa TN-S-järjestelmässä on yleensä viisi johdinta (L1, L2, L3 + N + PE) tai neljä johdinta (L1, L2, L3 + PE). Yksivaiheisessa TN-S-järjestelmässä on tavallisesti kolme johdinta (L1 + N + PE), lukuun ottamatta 0-luokan ja II-luokan sähkölaitteita, joiden liitännäisjohtimissa on vain johtimet L1 ja N, koska suojajohdinta ei näissä laitteissa tarvita. Myöskään yksinomaan tällaisia laitteita syöttävissä ryhmäjohtimissa ei tarvita suojajohdinta. (Suomen sähkö- ja teleurakoitsijaliitto 2009, 60–67.)



KUVA 3. TN-S-järjestelmän johtimet (Sähkötarkastuskeskus 1995, 37).

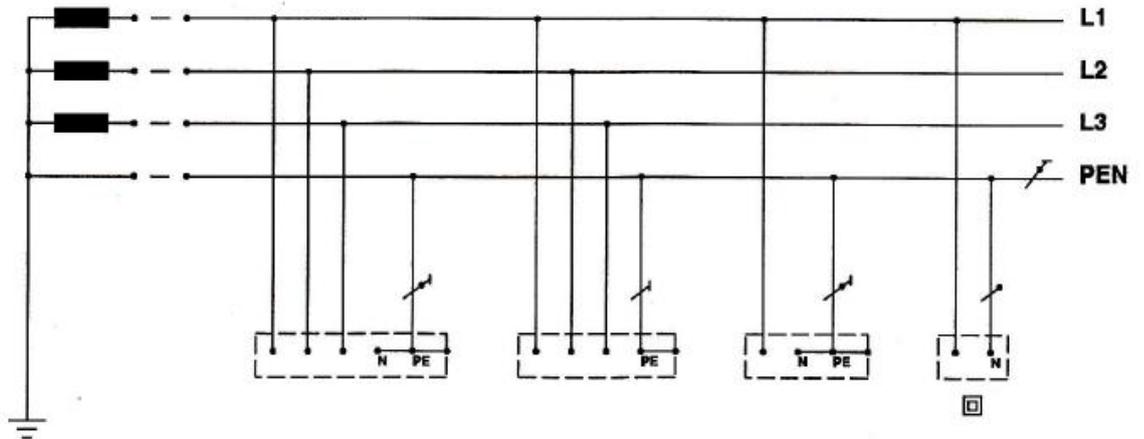
### 3.3.4 TN-C-järjestelmä

TN-C-järjestelmässä käytetään samaa johdinta, eli PEN-johdinta, joka toimii koko järjestelmän nollajohtimena sekä suojajohtimena. TN-C-järjestelmän käyttö on sallittua vain silloin kun johtimien poikkipinta on vähintään 10mm<sup>2</sup> kuparia tai 16mm<sup>2</sup> alumiinia. (Suomen sähkö- ja teleurakoitsijaliitto 2009, 60–67.)

Mikäli kolmivaihejärjestelmässä käytetään TN-C-järjestelmää, tarvitaan neljä johdinta (L1, L2, L3 + PEN). Yksivaiheisen TN-C-järjestelmän käyttäminen on johtimien poikkipintavaatimusten vuoksi lähinnä teoreettinen. (Suomen sähkö- ja teleurakoitsijaliitto 2009, 60–67.)

Vanhojen sähköturvallisuusmääräysten mukaisissa, eli ennen vuotta 1989 tehdyissä asennuksissa on ilman poikkipintavaatimusta käytetty yleisesti nollausta ryhmäjohtotasolla. Huomattavaa on, että nämä asennukset ovat maadoitustavaltaan TN-C-järjestelmän tai TN-C-S-järjestelmän mukaisia. Tällöin PEN-johdinta nimitettiin nolla-

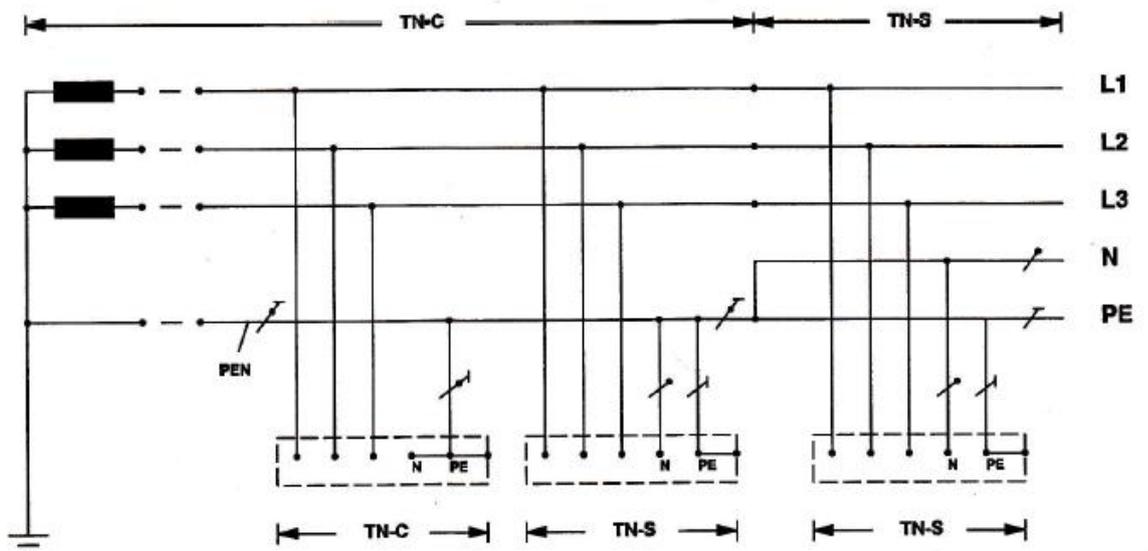
johtimeksi, eikä sitä erotettu merkinnöillä tavallisesta nollajohtimesta. (Suomen sähkö- ja teleurakoitsijaliitto 2009, 60–67.)



KUVA 4. TN-C-järjestelmän johtimet (Sähkötarkastuskeskus 1995, 38).

### 3.3.5 TN-C-S-järjestelmä

TN-C-S Järjestelmässä on yhdistetty TN-C-järjestelmä sekä TN-S-järjestelmä. Järjestelmässä käytetään TN-C-järjestelmää aina syöttävän verkon puolella, kun tilannetta katsotaan TN-S-järjestelmän puolelta. Kun nolla- ja suojajohtimet on erotettu toisistaan, ei niitä saa kytkeä enää uudelleen yhteen PEN-johtimeksi. (Suomen sähkö- ja teleurakoitsijaliitto 2009, 60–67.)



KUVA 5. TN-C-S-järjestelmän johtimet (Sähkötarkastuskeskus 1995, 39).

### 3.3.6 IT-järjestelmä

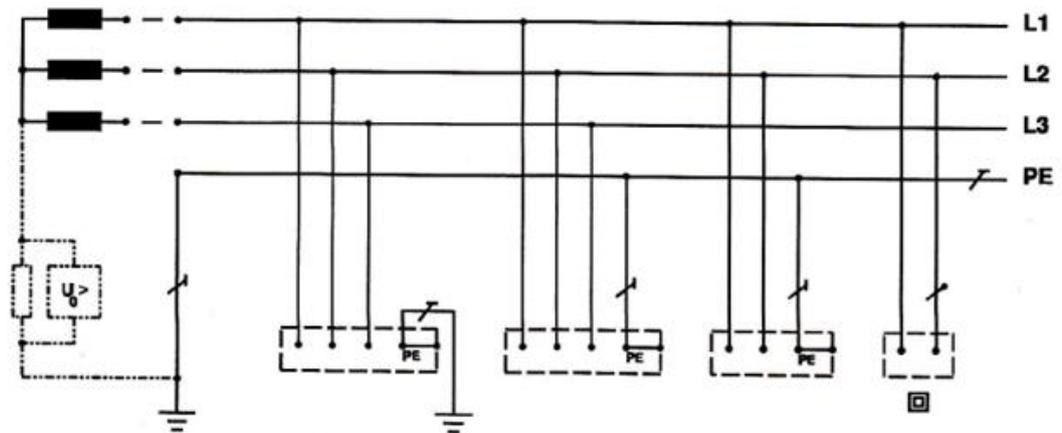
IT-järjestelmä on maasta erotettu järjestelmä, koska IT-järjestelmässä mitään virtapiirin jännitteistä osaa ei ole kytketty suoraan maahan. Jännitteelle alttiit osat sähkölaitteistossa ja -laitteissa on kytketty erillisiin maadoituselektrodeihin tai yhteiseen elektrodiin suojajohtimen välityksellä. Yhteinen elektrodi voi olla myös syöttävän verkon maadoituselektrodi. IT-järjestelmässä voidaan käyttää myös nollajohdinta, mutta sen käyttö ei ole suositeltavaa. (Suomen sähkö- ja teleurakoitsijaliitto 2009, 64–65.)

Maasta erotetussa IT-järjestelmässä voidaan järjestelmän yksi piste, joka tavallisimmin on nollauspiste kytkeä maahan impedanssin välityksellä suojaus- sekä mittaus-tarkoituksia varten. IT-järjestelmässä maasulunvalvonta toteutetaan yleensä järjestelmän keskipisteen sekä maan välille kytkettävän vastuksen avulla. Käyttökohde, jossa järjestelmää sovelletaan määrää, käytettävän vastuksen suuruuden. Esimerkiksi sairaaloiden leikkaussalit ovat erityistiloja, joissa vastuksen suuruuden tulee olla standardin SFS 6000-7-710 mukaan vähintään 100 k $\Omega$ . Teollisuuden IT-järjestelmissä käytetään oleellisesti pienempiä vastusarvoja katkeilevan maasulun aiheuttamien ylijännitteiden rajoittamiseksi. IT-järjestelmässä yksivaiheinen maasulku ei aiheuta välitöntä käyttökeskeytystä. IT-järjestelmässä käytetäänkin juuri tästä syystä sähkönjakelujärjestelmänä prosessiteollisuudessa, koska mahdollinen vika ei heti aiheuta prosessin keskeyttämistä. (Suomen sähkö- ja teleurakoitsijaliitto 2009, 64–67.)

Maasta erotettua IT-järjestelmässä käytetään erityisesti silloin, kun maasulusta aiheutuvia käyttökeskeytyksiä halutaan estää tai siirtää. IT-järjestelmää käytetään mm. seuraavissa kohteissa:

- keskijännite verkko
- teollisuuden prosessisähkönjakelu
- sairaaloiden leikkaussalit
- ohjauspiirit (Suomen sähkö- ja teleurakoitsijaliitto 2009, 64–67).

IT-järjestelmää käytettäessä vaatimuksena on, ettei galvaanisesti yhtenäinen IT-järjestelmä ulotu usean eri haltijan sähkölaitteistoon, koska muuten ensimmäisen maasulun aiheuttaman vikapaikan paikallistaminen sekä vian poistaminen olisi hankalaa. Lisäksi myös vikajännitteisiin liittyvien ehtojen täyttäminen hankaloituisi. Vikojen paikallistamisen vaikeuden vuoksi on myös prosessiteollisuudessa alettu käyttää entistä useammin IT-järjestelmän sijaan TN-S-järjestelmää. (ABB 2000, 102–103.)



KUVA 6. IT-järjestelmän johtimet (Sähkötarkastuskeskus 1995, 40).

Esimerkki IT-järjestelmän käytöstä:

Teollisuuslaitoksessa on kaksi jakelumuuntajaa, joiden toisiojännitteet ovat 400 V ja 690 V.

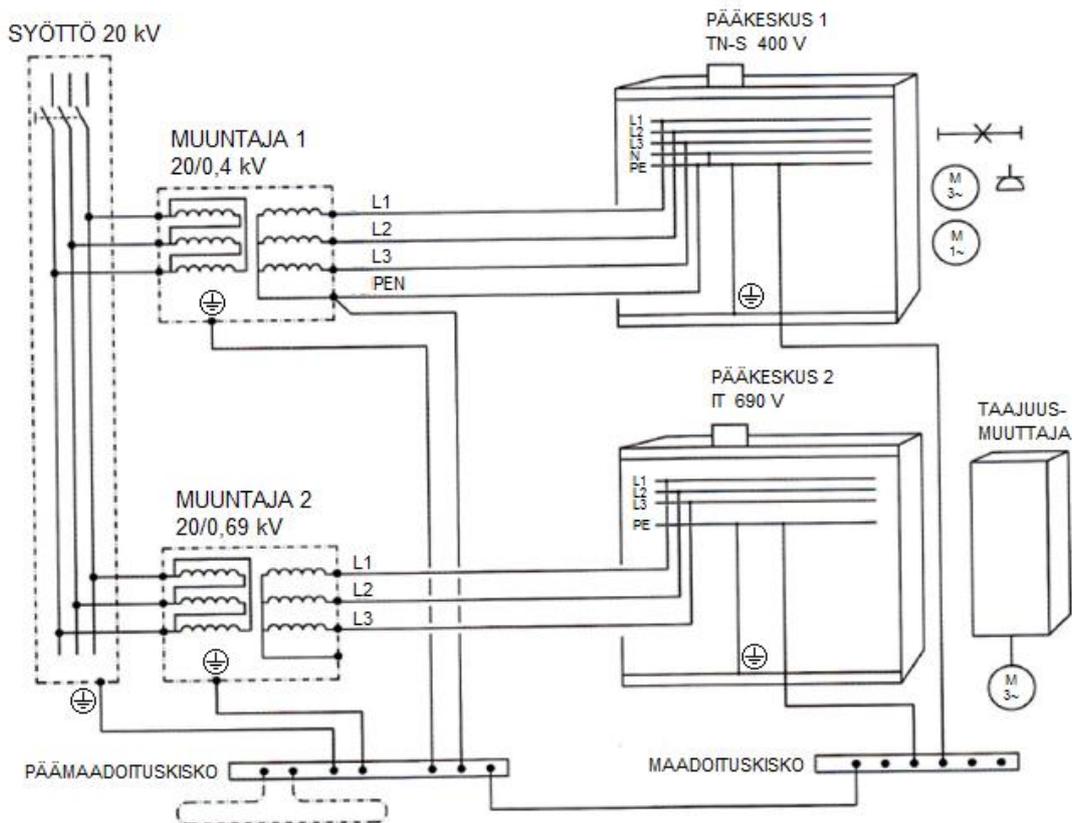
- 20 kV / 0,4 kV                      → TN-verkko:  $U = 400 \text{ V}$ ,  $U_v = 230 \text{ V}$
- 20 kV / 0,69 kV                     → IT-verkko:  $U = 690 \text{ V}$ ,  $U_v = 0 \text{ V}$

Laitoksen TN-verkko on maadoitettu sähköverkko ja IT-verkko on maasta erotettu sähköverkko. Esimerkissä on sovellettu tätä kahden jännitteen järjestelmää, jossa on taajuusmuuttajalla ohjattu nimellistehoaltaan 250 kW:n suuruinen kaukolämpöpumpun moottori. Moottori toimii pääjännitteellä 690 V, jolloin moottori ottaa sähköverkosta 290 A:n nimellisvirran. Mikäli moottori olisi kytketty 400 V:n jännitteeseen pääkeskukseen, ottaisi moottori verkosta 500 A:n suuruisen nimellisvirran. Laitoksessa kaikki muut laitteet ja järjestelmät toimivat 400 V:n pääjännitteellä. (Mäkinen, Kallio 2006, 9 - 10.)

Vaikka laitokseen on jouduttu tästä syystä hankkimaan kahdenlaisia muuntajia eri jänniteportaita varten, saadaan 690 V:n IT-järjestelmästä seuraavat edut:

- kaapelien pienemmät johdinpoikkipinnat, koska virrat ovat pienempiä alhaisemmat virtalämpöhäviöt
- taajuusmuuttajien edullisempi hankintahinta
- laitoksella on parempi käyttövarmuus, koska eri jännitejärjestelmiin tulevat viat eivät ole riippuvaisia toisistaan.
- fyysiseltä kooltansa pienemmät sähkömoottorit, moottorikeskukset sekä moottorilähdöt (Mäkinen, Kallio 2006, 9-10.)

Mikäli laitoksen IT-järjestelmässä yksi vaihejohdin joutuu kosketuksiin maadoitetun osan kanssa, ei maasulkua tapahdu eivätkä suojalaitteet toimi. Järjestelmä jatkaa normaalia toimintaansa vielä ensimmäisen vian tapahtumisen jälkeen. IT-järjestelmässä pääkeskukseen on asennettu maasulkurele, joka antaa hälytyksen tapahtuneesta maasulkuviasta. Mikäli tämän jälkeen järjestelmässä tapahtuu toinen vika ja syntyy oikosulku, toimivat suojalaitteet ja järjestelmä pysähtyy. (Mäkinen, Kallio 2006, 9-10.)



KUVA 7. Teollisuuslaitoksen jännitejakelu, jossa on kaksi muuntajaa, kaksi toisiojännitetasoa sekä kaksi jakelujärjestelmää (TN-S-järjestelmä ja IT-järjestelmä). (Mäkinen, Kallio 2006, 10.)

### 3.3.7 Jakelujärjestelmien yhdistäminen

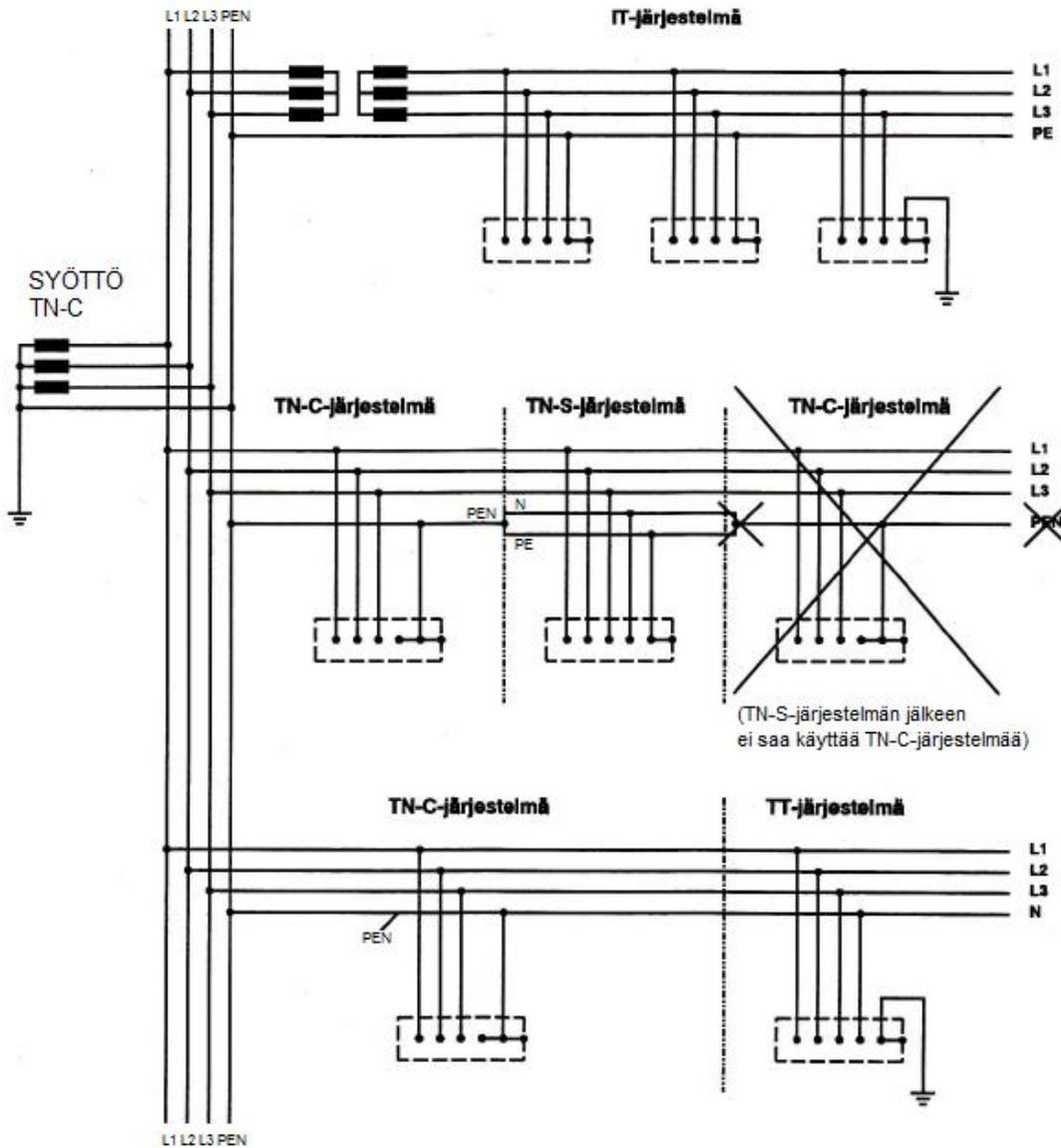
Jakelujärjestelmät TN-S, TN-C, TT ja IT tarkoittavat kokonaista järjestelmää, mutta järjestelmiä voidaan kuitenkin yhdistää ja samassa sähköverkossa voidaankin käyttää osia eri järjestelmistä. Järjestelmien yhdistämisessä tavallisin tapaus on juuri pienjänniteverkossa käytetty TN-S-C-sekajärjestelmä. Sähkölaitosten jakeluverkot ovat yleensä TN-C-järjestelmän mukaisia, lukuun ottamatta keskijänniteverkkoa, joka on IT-järjestelmän mukainen. TN-C-järjestelmän mukaisissa jakeluverkoissa käytetään PEN-johdinta, joka on maadoitettu muuntamalla sekä johtohaarojen päissä ja myös jokaisessa liittymässä. Rakennusten sisäinen sähköverkko on varsinkin uusissa asennuksissa TN-S-järjestelmän mukainen, joitakin poikkeuksia lukuun ottamatta. (Suomen sähkö- ja teleurakoitsijaliitto 2009, 65–67.)

Turvallisuuden ja häiriösuojauksen takia käytetään teollisuudessa ja toimistorakennuksissa muuntajalta tai pääkeskukselta lähtien yleensä TN-S-järjestelmää. TN-C-järjestelmässä PEN-johtimen katkeaminen aiheuttaa välittömän vaaratilanteen. Tällöin vaihejännite saa kulkureitin suojamaadoitetun laitteen kuoreen, laitteen sisäisen impedanssin sekä nolla- ja suojajohtimen eriyttämiskohdan kautta. PEN-johtimella varustetut järjestelmät ovat häiriöiden takia haitallisia mm. ATK-laitteille, koska se mahdollistaa suurien potentiaalierojen syntyminen ATK-laitteiden suojamaadoitettujen osien sekä suojamaadoitettuihin osiin kytkettyjen osien välille. Potentiaalierot aiheuttavat ATK-kaapeleiden suojavaippoihin harhavirtoja. PEN-johdinta käytettäessä nollajohtimen nollavirta harhautuu maadoitusten kautta myös rakennuksen metallirakenteisiin. (Suomen sähkö- ja teleurakoitsijaliitto 2009, 65–67.)

Liitettäessä TN-S-järjestelmään IT-järjestelmä, on kytkentä suoritettava muuntajan välityksellä IT-järjestelmän maasta erottamisen vuoksi. Yleensä paikalliselle IT-järjestelmälle ei tarvitse tehdä omaa maadoituselektrodiä, vaan IT-järjestelmän suojohtin voidaan kytkeä yhteen järjestelmää syöttävän TN-järjestelmän suojohtimen kanssa ja yhdistää molemmat järjestelmät tätä kautta samaan yhteiseen maadoituselektrodiin. (Suomen sähkö- ja teleurakoitsijaliitto 2009, 65–67.)

Opinnäytetyössä on myös sovellettu jakelujärjestelmien yhdistämistä: Jännitteensyöttö pääkeskukselta JKL01 moottorilähtökeskukselle sekä suojaerotusmuuntajan kautta verkkomallille on toteutettu TN-S-järjestelmänä. Jakorasialta kaapelointi erottajalle jatkuu ilman nollajohdinta ja verkkomalli on jakorasialta eteenpäin maasta erotettu IT-järjestelmä. Moottorilähtökeskuksen jakorasiaan viedään nollajohdin. Nollajohdin jatkuu suorana apujännitekiskolle asti, jonka jännite on 400 V. Apujännitekisko on TN-S-

järjestelmä. Nollajohdinta ei viedä välimuuntajalle vaan välimuuntaja muodostaa moottorilähtökeskukselle oman nollansa. Moottorilähtökeskus on myös TN-S-järjestelmä. (Sähkötarkastuskeskus 1995, 36–40.)



KUVA 8. Jakelujärjestelmien yhdistäminen (Sähkötarkastuskeskus 1995, 43).

## 4 TEOLLISUUDEN SÄHKÖNJAKELU SEKÄ TEOLLISUUSVERKOT

### 4.1 Yleistä teollisuuden sähkönjakelusta

Teollisuuden sähkönjakelussa, jakeluverkko on rakennettu tuotantolaitoksen tuotantoprosessien tarpeiden mukaan. Verkkoa uusitaan ja laajennetaan lähinnä silloin, kun tuotantoa korvataan tai laitokseen tehdään laajennustöitä. Teollisuuden sähkönjakeluverkossa verkon rakenteet ovat pitkäikäisiä ja ne sisältävät paljon jakelutekniikkaa, joka on usein peräisin monelta eri aikakaudelta. (Rissanen 2010.)

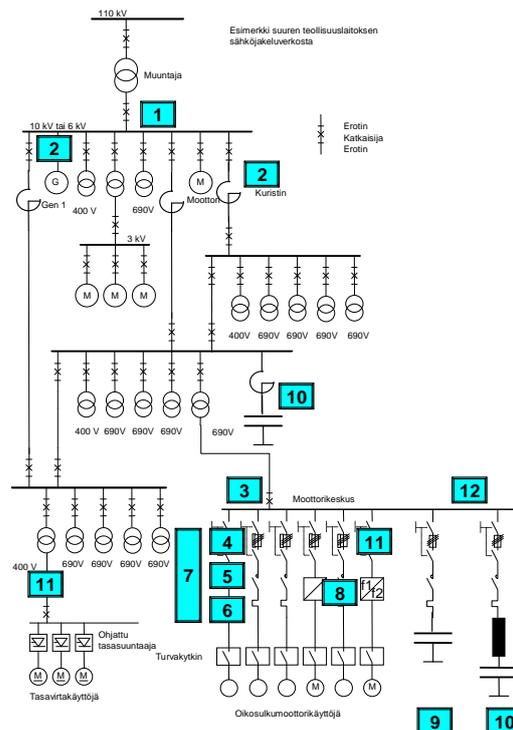
Prosessiteollisuudessa verkon kyky siirtää energiaa on oltava suuri ja rakenteiden vahvoja. Teollisuusverkon oikosulkutehot ovat verkoston rakenteen ja oman tuotannon takia suuret, jolloin saatetaan joutua käyttämään jakelun solmupisteissä kalliita erikoisrakenteita kojeistojen, komponenttien ja kaapeloinnin mitoittamisessa. (Rissanen 2010.)

Teollisuudessa sähkönjakelun luotettavuus ja käyttövarmuus ovat tärkeitä tekijöitä, koska tuotannon menetyksistä koituu yleensä suuria kustannuksia. Tuotannon seisokien määrä yritetään minimoida ja seisokit pyritään pitämään kestoltaan mahdollisimman lyhyinä. Usein teollisuuslaitoksissa joudutaankin tekemään huolto- ja kunnossapito- sekä asennustöitä niin, että laitos on osittain käynnissä. (Rissanen 2010.)

Tulevaisuudessa teollisuuslaitosten nimellistehot sekä oikosulkutehot tulevat entisestään kasvamaan, jolloin korostuu turvallisuuden merkitys prosesseissa ja sähkönjakelussa. Tuotannon keskittyessä yhä kapeammalle erikoisosaamisen sektorille, vaaditaan myös erikoisosaamista huolto- ja kunnossapitotoiminnalta. Usein huoltotoimintoja onkin tästä syystä ulkoistettu. (Rissanen 2010.)

# Teollisuuden sähköverkko

1. Keskijännitekojeisto
2. Oikosulkuvirran rajoitus keskijännitteellä
3. 690 V:n kojeisto
4. Oikosulkusuojaus
5. Kontaktori
6. Ylikuormitussuojaus
7. Integroidut komponentit
8. Taajuusmuuttaja
9. Loistehon kompensointi
10. Yliaallojen suodatus
11. Virtayliaallot
12. Jänniteyliaallot



KUVA 9. Suuren teollisuuslaitoksen sähköjakaiverkko sekä verkon komponentit. (Rissanen 2010.)

## 4.2 Teollisuuden sähköjakaiverkon ominaisuudet

Vaikka teollisuudessa sähköverkot ovat laajuudeltaan suhteellisen pieniä, niissä siirrettävät tehot ovat kuitenkin hyvin suuria. Teollisuudessa suurin osa sähköenergiasta käytetään sähkömoottoreiden pyörittämiseen, joten prosessien sähkökäytöt vaikuttavat nimellistehoiltaan sekä lukumäärältään teollisuuslaitoksen sähköjakaiverkon rakenteeseen sekä käytettävien jännitetasojen valintaan. (Etto 1998.)

Teollisuusprosesseihin tarvitaan sähkömoottorikäyttöjen lisäksi myös valaistusta, lämmitystä sekä ohjaus- ja automaatiojärjestelmiä varten normaali pienjännitejaku 400 V jännitteellä. Sähköjakaiverkon rakenteeseen vaikuttavat paljon myös eri sähkölämpötekniikat, kuten valokaariunit sekä infrakuivaimet. (Etto 1998.)

Raskas prosessiteollisuus liittyy yleensä kantaverkkoon 110 kV:n jännitteellä, pienemmät teollisuuslaitokset liittyvät tavallisesti 10 kV:n tai 20 kV:n jännitteellä, laitoksesta riippuen. Teollisuuslaitoksen sisäiseen sähköjakeluun käytetään 20 kV:n, 10 kV:n tai 6 kV:n jännitteitä, riippuen laitoksen valmistumisajankohdasta sekä laitoksessa käytettävien suurimpien moottoreiden yksikkötehoista. Nykyään käytetään myös

110 kV:n jännitettä tehdasalueiden sisäisessä sähköjakelussa. 20 kV:n jännitetaso on omiaan laitoksen keskijännitejakelussa sekä se sopii myös hyvin sellaisenaan esimerkiksi varayhteydeksi paikallisen sähkölaitoksen kanssa. Jakelujännitteinä käytetään myös 10 kV jännitettä sekä muutamissa vanhemmissa laitoksissa käytetään jakelujännitteinä myös 6 kV jännitettä. Moottorijännitteinä 6 kV ja 10 kV jännitteitä käytetään hyvinkin laajasti, pienemmistä muutamien satojen kilowattien tehoisista moottoreista aina yli 10 MW tehoisiin moottoreihin saakka. 6 kV sekä 10 kV jännitteet ovat myös yleisiä generaattorijännitteitä ja tämä onkin suuritehoisten moottoreiden lisäksi vaikuttanut teollisuuslaitosten jännitetasojen valintaan. (Etto 1998.)

Teollisuudessa käytetään moottorijännitteinä 10 kV, 6 kV, 3 kV, 690 V, ja 400/230 V. 10 kV:n ja 6 kV:n moottorijännitettä käytetään suurjännitemoottoreiden jännitteinä. 3 kV:n jännitettä käytetään nykyään enää vain muutamassa laitoksessa. Prosessiteollisuudessa on aikaisemmin käytetty myös 525 V:n jännitettä moottorikeskusten jännitteinä, mutta nykyisin käytetään 690 V:n jännitettä sekä pienemmissä laitoksissa, joissa on myös pienemmät moottoritehot käytetään 400/230 V:n jännitettä. Tätä 400/230 V:n jännitettä tarvitaan myös valaistus- ja kunnossapitoverkkoihin sekä teollisuuslaitoksen muuhun sähköjakeluun esimerkiksi ATK-järjestelmät ja konttori- yms. tilat. Vaihto- ja tasavirtakäyttöjen jännitteet valitaan aina tapauskohtaisesti. Teollisuuslaitoksessa jakelu- ja moottorijännitteet valitaan yleensä teknistaloudellisin perustein. (Etto 1998.)

Samassa teollisuuslaitoksessa on usein hyvin eri-ikäisiä komponentteja sähköverkossa. Käytössä saattaa olla 1950–60-luvuilla rakennettuja kojeistoja ja sähköjärjestelmän osia sekä niiden rinnalla aivan uusia. Teollisuudelle tavanomaista on, että useimmat kojeistojen lähdöt on uusittu myöhemmin ja lähtöjä on voitu uusita jo useampaankin kertaan. Komponenttien uusinnassa muutetaan yleensä releistystä, virtamuuntajia, ohjauksia sekä kaapelointia. Teollisuuslaitoksessa sähköverkon päivittäminen tapahtuu yleensä yksi laitoksen osasto tai osakokonaisuus kerrallaan. (Etto 1998.)

Sähköverkon komponenttien kunto vaihtelee. Laitteiden sekä johtojen eristemateriaalit vanhenevat käyttöolosuhteista riippuen. Yleensä eristykset kestävät noin 20–40 vuotta. Eristeiden vanhenemisen seurauksena on läpilyöntejä ja läpilyönneistä johtuvia oikosulkuja, maasulkuja sekä toimintahäiriöitä. Nämä ovat vikoja, jotka voivat keskeyttää laitoksen sähköjakelun ja pahimmillaan pysäyttää käynnissä olevan prosessin. Prosessin keskeydyttyä sen uudelleen käynnistäminen voi prosessin luonteesta riippuen kestää useita tunteja tai jopa vuorokausia. Tuotantohäiriöiden aiheut-

tamat taloudelliset tappiot ovat yleensä erittäin suuret ja ne johtuvat suoraan tuotannon menetyksestä sähköjakelun keskeytyksen aikana sekä uudelleen käynnistetyn tuotannon mahdollisista laatuhäiriöistä, prosessin jälleen käynnistyttyä. (Etto 1998.)

### 4.3 Sähköverkkojen rakennevaihtoehdot

Sähköverkkojen rakenne jaetaan kolmeen perustyyppiin, jotka ovat säteittäinen verkko, rengasverkko sekä silmukoitu verkko. Jokaisella verkkotyypillä on omat hyvät, sekä huonot puolensa. Kun vertaillaan eri vaihtoehtoja verkkotyypin valinnassa, on huomioitava verkkojen käyttöön liittyvät teknis-taloudelliset näkökohdat, joita ovat tyypillisesti investoinnin kalleus, käytön taloudellisuus ja luotettavuus, mahdollisuus varasyöttöyhteyksien rakentamiseen sekä erityisesti verkon suojaamiseen liittyvät asiat. (Rissanen 2010.)

#### 4.3.1 Säteittäinen verkko

Teollisuudessa yleisimmin käytetty verkkotyyppi on säteittäinen verkko, sitä käytetään keski- ja pienjännitteisessä sähköjakelussa. Säteittäisen verkostorakenteen eduiksi voidaan katsoa verkon selkeä rakenne, yksinkertainen käytettävyys, suojaamisen helppous ja verkon yksinkertainen mitoittaminen. Säteittäisen verkkorakenteen haittapuolena ovat sen varmistamismahdollisuuksien puuttuminen sekä verkon huollon tai korjauksen aiheuttamista käyttökeskeytyksistä johtuvat pitkät katkot. Säteittäisen verkon käytettävyyttä on mahdollista parantaa rakentamalla verkkoon varasyöttöyhteyksiä, joilla turvataan kriittisimmät toiminnot katkojen aikana. (Rissanen 2010.)

#### 4.3.2 Rengasverkko

Käytettäessä suurempia jännitteitä, rakennetaan verkko usein rengasverkoksi. Rengasverkko muodostaa nimensä mukaisesti renkaan ja sähkön syöttö voidaan järjestää varmistetusti. Muita rengasverkon tarjoamia etuja säteittäiseen verkkoon verrattuna ovat tasaisempi jännitteenlaatu sekä pienemmät tehohäviöt. Haittoina kuitenkin ovat suojauksen monimutkaisempi toteutus sekä mahdolliset riskit verkkoa käytettäessä. Työturvallisuuden kannalta on tärkeää huomioida verkon kaikki mahdolliset syöttösuunnat. Riskien ja tapaturmien välttämiseksi on huolto- ja korjaustöiden ajaksi verkko tai verkko-osa erotettava jännitteettömäksi sen kaikista syöttösuunnista. (Rissanen 2010.)

#### 4.3.3 Silmukoitu verkko

Silmukoitu verkko on ominaisuuksiltaan samankaltainen rengasverkon kanssa, mutta se sisältää myös syöttörengas sisäisiä väliyhteyksiä. Väliyhteyksillä saadaan edelleen parannettua syöttöjen varmistusmahdollisuuksia sekä verkon jännitevakavuutta, myös verkon tehohäviöt saadaan pienemmiksi. Haitaksi voidaan lukea silmukoidun verkon käytön vaikeutuminen ja suojaustoimien kalleus. Suomessa ei teollisuudessa käytetä yleisesti silmukoitua verkkorakennetta, vaan silmukoitu verkko on kantaverkon verkkotyyppi 220 kV ja 400 kV jännitteillä. (Rissanen 2010.)

#### 4.4 Teollisuusverkon ja jakeluverkon eroavaisuudet

Teollisuuden sähköverkko ja kaupunkien sekä kuntien jakeluverkot eroavat toisistaan. Merkittävämpiä eroja ovat käytettävät komponentit, kuten teollisuusverkon kaapelien suuret johdinpoikkipinnat sekä suurikokoiset ja suuritehoiset muuntajat. Yleisen jakeluverkon kaapelien sekä ilmajohtojen johdinpoikkipinnat sekä käytettävät muuntajat ovat pienempiä. Oikosulkuvirta-arvoiltaan teollisuusverkko on suurivirtainen, kun taas jakeluverkon oikosulkuvirta-arvot ovat teollisuusverkkoihin nähden hyvin pieniä. Teollisuusverkoissa esiintyviä suuria oikosulkuvirtoja on myös rajoitettava erikoistoimenpiteillä, esimerkiksi kuristimella ja jopa räjähdyspanoksella toimivalla katkaisijalla. Jakeluverkossa sähköä siirretään pitkiä matkoja, mutta teollisuusverkoissa siirtomatkat ovat lyhyitä. Verkkotyyppin rakenteet ovat myös erilaisia: teollisuudessa tyypillisin käytettävä verkkotyyppi on säteittäinen verkko, mutta jakeluverkoissa käytetään useimmiten rengasverkkoa tai silmukoitua verkkoa. (Rytkönen 2009.)

## 5 TEOLLISUUDEN SÄHKÖLAITTEISTO

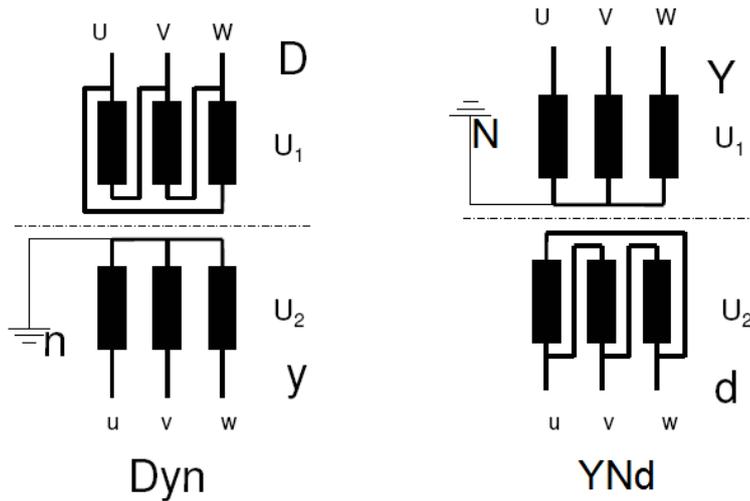
### 5.1 Muuntajan rakenne

Muuntaja koostuu tavallisesti rautasydämeestä, sen ympärille kierretystä, joko alumiinista tai kuparista tai näiden seoksesta valmistetusta käämityksestä, teräslevystä valmistetusta kotelosta sekä kotelon sisällä olevasta eristysaineesta, joka usein on muuntajaöljyä tai pienemmissä muuntajissa ilmaa. Kolmivaiheisen muuntajan rautasydän on pylväänmuotoinen ja se sisältää ensiö- ja toisiokäämityksen, erikseen jokaiselle vaiheelle. Muuntajan ensiökäämitystä kutsutaan myös yläjännitekäämitykseksi ja toisiokäämitystä alajännitekäämitykseksi. Muuntajien teho ilmoitetaan näennäistehona (S). Esimerkiksi  $S = 150 \text{ kVA}$ . Muuntajia valmistetaan useissa eri teholuokissa, esimerkiksi jakelumuuntajat voivat olla suuruudeltaan muutaman kymmenen kVA:n pylväsmuuntajista aina teollisuuden 5000 kVA:n muuntajiin. (Korpinen 1998.)

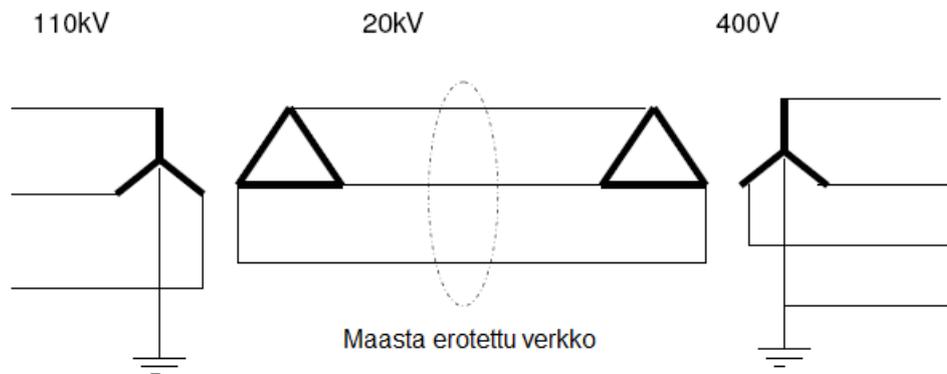
Muuntajien rakenne voidaan jakaa passiivisesti toimiviin osiin ja aktiivisiin osiin. Passiivisia osia ovat esimerkiksi muuntajan tuki- ja eristysrakenteet, jäähdytyslaitteet ja eristysmateriaalit. Aktiivisia osia ovat rautasydän ja käämitykset, joiden avulla siirretään sähköenergia ensiö- ja toisiokäämityksen välillä. Käämimateriaalina käytetään alajännitekäämissä pienissä muuntajissa kaksikerroksisista muotolankakäämiä ja suurissa muuntajissa foliokäämiä. Käämimateriaalina käytetään joko kuparia tai alumiinia. Käämit ovat paperilla eristettyjä ja alajännitekäämin ja rautasydämen välissä on prespaanilieriö. Yläjännitekäämi tehdään yleensä pieniä virtoja varten monikerroskääminä joko muoto- tai pyörölangasta. Lankana käytetään kupari- tai alumiinilankaa, joka on paperieristeistä. Kerrosten välillä eristeenä käytetään paperia. Suuria virtoja varten yläjännitekäämi tehdään muotolangasta jatkuvana levyvyyhtikääminä. Ylä- ja alajännitekäämien välissä on eristelieriö ja jäähdytyskanavia. (Korpinen 1998.)

### 5.2 Muuntajien kytkentäryhmät

Kolmivaihemuuntajan vaihekäämit voidaan kytkeä erilaisilla kytkentätavoilla. Jakelumuuntajalla käytetään tavallisimmin Dyn-kytkentää, kun taas teollisuudessa suurjänniteliitynnässä muuntajalla käytetään yleisesti YNd-kytkentää. Kuvassa 10. on esitetty molemmat kytkennät. (Rytönen 2009).



KUVA 10. Muuntajien Dyn - ja YNd - kytkennät (Rytkönen 2009).



KUVA 11. Tyypillinen muuntajakytkentä sähkönsiirrossa 110/20 kV muuntajalta pienjänniteverkkoon, 20/0,4 kV muuntajan läpi 400 V puolelle. Muuntajien kytkentäryhmät ovat: 110/20 kV YNd ja 20/0,4 kV Dyn. (Rytkönen 2009.)

Muita vaihekäämien kytkentätapoja kolmivaihemuuntajissa on esitelty kuvassa 12. Kytkentöjen kirjainlyhenteissä iso kirjain tarkoittaa ensiökäämin kytkentää ja pieni kirjain toisiokäämin kytkentää. Kytkentätyypit ovat tähti (Y ja y), kolmio (D ja d) ja hakatähti (z). Vastaavasti kirjaimella on merkitty myös muuntajan käämityksen nollapiste (N ja n) tähti- tai hakatähtikytkennässä. Kytkennässä oleva numero eli tunnusluku ilmoittaa ensiö- ja toisiojännitteiden vaihe-eroa. Tunnuslukuina käytetään kellotaulun tuntilukemia. Jos esimerkiksi on kytkentä Dyn11, on toisiojänniteosoitin 30 astetta edellä ensiöjänniteosoittimesta, jonka lukema on 12 eli 0 astetta. (Korpinen 1998.)

Tunnusluku	KytKentä	Osoitinkuvat		KytKennät	
		YJ	AJ	YJ	AJ
0	Dd0				
	Yy0				
	Dz0				
5	Dy5				
	Yd5				
	Yz5				
6	Dd6				
	Yy6				
	Dz6				
11	Dy11				
	Yd11				
	Yz11				

KUVA 12. Kolmivaihemuuntajien standardisoidut kytkennät. Kuvassa on rajattuna suomessa jakelumuuntajissa yleisimmin käytetyt kytkennät. (Korpinen 1998.)

### 5.3 Muuntajien suoja- ja valvontalaitteet sekä lisävarusteet

Muuntaja voidaan varustaa suojausta ja valvontaa varten muun muassa seuraavallisilla laitteilla sekä lisävarusteilla:

- Ylijännitesuoja. Ylijännitesuojan tarkoituksena on suojella muuntajaa esimerkiksi salamaniskun aiheuttamasta jännitepiikistä, jota laite ei ole suunniteltu kestävään. Ylijännitesuojia ovat metallioksidisuoijat ja kipinäventtiilit. (ABB 2000, 143.)
- Paisuntasäiliö. Paisuntasäiliön tilavuus vastaa muuntajaöljyn öljytilavuuden erotusta minimi- ja maksimilämpötiloissa. Paisuntasäiliöllä varmistetaan, että muuntajan varsinaisessa öljytilassa on aina tarpeeksi öljyä. (ABB 2000, 325.)
- Kaasurele, jonka tehtävänä toimia öljyeristeisen muuntajan suojana, kun muuntajassa esiintyy sisäisiä vikoja. Vikoja voivat olla ylikuumentuminen, purkaus- ja valokaari-ilmiöt ja sisäiset oikosulut. Releen toiminta perustuu edellä mainittujen vikojen sattuessa tapahtuvaan kaasun kehitykseen. Kaasurelees-

sä on hälytys- sekä laukaisukoskettimet. Laukaisukosketin kytketään aina samaan laukaisupiiriin muuntajan pääkatkaisijoitten kanssa. (ABB 2000, 325.)

- Öljyn lämpötilan mittari, joka mittaa muuntajaöljyn huippulämpötilaa. Öljyn lämpötilan mittari sisältää tavallisesti aseteltavat hälytys- ja laukaisukoskettimet. (ABB 2000, 325.)
- Öljynkorkeuden osoitin, joka näyttää paisuntasäiliössä olevan öljyn pinnan korkeuden. Öljynkorkeuden osoitin sijoitetaan paisuntasäiliön pätyyn ja se on varustettu suurissa muuntajissa ylä- ja alarajan hälytyskoskettimella, joka hälyttää liian matalasta tai liian korkeasta öljyn pinnankorkeudesta. (ABB 2000, 325.)
- Ilmankuivain, jonka tarkoituksena on estää kosteuden pääsy muuntajaöljyn sekaan. Ilmankuivain koostuu muovisesta lieriöstä, jossa on hygroskoopista kuivausainetta, yleensä silikageeliä. Geeli kerää kosteuden itseensä, kun muuntaja imee ilmaa itseensä öljyn pinnankorkeuden muutoksen takia. (Huurinainen 2006.)
- Käämikytkimen suojarole, jonka on tarkoitus suojata käämikytkintä vaurioitumiselta. Suojareleessä oleva laukaisukosketin kytketään aina samaan laukaisupiiriin muuntajan pääkatkaisijoitten kanssa. (ABB 2000, 325.)
- Ylipaineventtiili estää paineen nousun muuntajan säiliössä liian suureksi, jos muuntaja vaurioituu. Venttiilin avulla paine saadaan laskettua hallitusti ilman, että öljyn pinta laskee liian alhaiselle tasolle. (ABB 2000, 325.)



KUVA 13. Teollisuuslaitoksen 20 MVA päämuuntaja (Savon sellu Oy) (Rytkönen 2009).



KUVA 14. Jakelumuuntaja

#### 5.4 Kiskosillat sekä kiskostot

Teollisuudessa esiintyvät virrat ovat usein todella suuria ja se asettaa käytettäville komponenteille erityisiä vaatimuksia. Teollisuuslaitoksissa käytetään sähkönsiirrossa usein kiskosilloja muuntajalta pienjännitekeskukselle tai moottorikojeistoille ja pienjännitekeskusten väliseen sähkönsiirtoon. Kiskosiltojen virtakiskot valmistetaan alumiinista tai kuparista. Yleisempi valmistusmateriaali on puhdas alumiini tai alumiiniseos, kuparia käytetään silloin kun vaaditaan pienempää poikkipintaa, esimerkiksi ahtaissa tiloissa. Keskuksessa kiskosilta yhdistetään keskuksen kokoojakiskoon kuormakytkimen tai kompaktikatkaisijan välityksellä. Keskuksen puoleinen kokoojakiskosto on yleensä toteutettu yksikiskojärjestelmänä. (Jantunen 2004.)

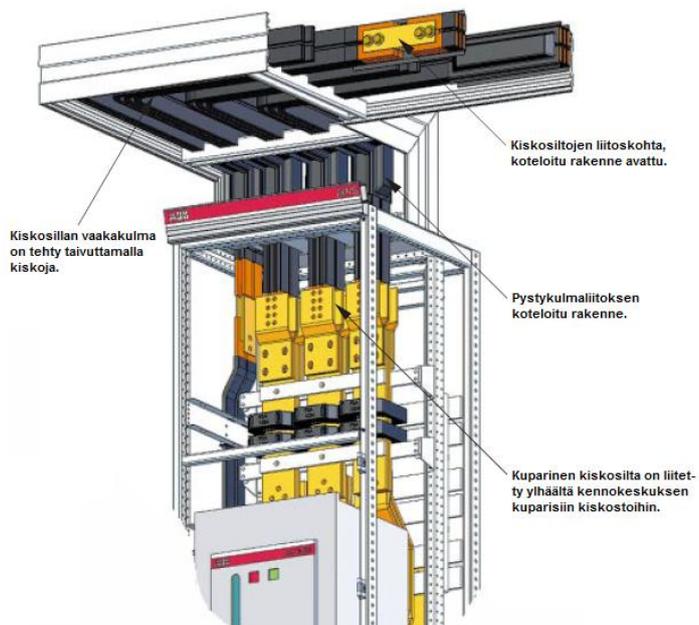
Kiskosillat ovat rakenteeltaan itsekantavia pitkiä alumiiniprofiileja, jotka on suojattu korroosion vaikutuksilta. Virtakiskot päällystetään suulakepuristetulla muovieristyskäsillä, joka kiinnittyy tiiviisti virtakiskon pintaan ja antaa kiskolle hyvän kuormituksen keston sekä sallii kiskon taivuttamisen. Kiskosillat ovat täydellisesti vaihe-eristettyjä. Eristyksen ansiosta oikosulun syntyminen vaiheiden välillä ja maadoitettuihin osiin on estetty. Kiskosiltojen suojausta sateelta ja mekaanisilta vaurioilta voidaan parantaa lisäkoteloinnilla. Kiskosiltojen läpiviennit huonetilojen seinien sekä kattojen ja lattioiden läpi toteutetaan kuhunkin asennustilaan vaadittuna paloluokiteltuna läpivientinä

ja läpiviennit voidaan tarvittaessa toteuttaa myös kaasutiiviisti. Kiskosillan liittäminen muuntajan napoihin toteutetaan joustavilla liitoksella, koska joustavat liitoskiskot poistavat lämpölaajenemisesta ja värinästä aiheutuvat haittavaikutukset. Lämpölaajenemisen vuoksi pitkiin kiskosiltoihin on asennettava myös pituusjoustot. Eri valmistajien valmistamat kiskosillat ovat myös yhteensopivia toistensa kanssa ja liitettävissä toisiinsa sopivilla liittimillä. (Jantunen 2004.)

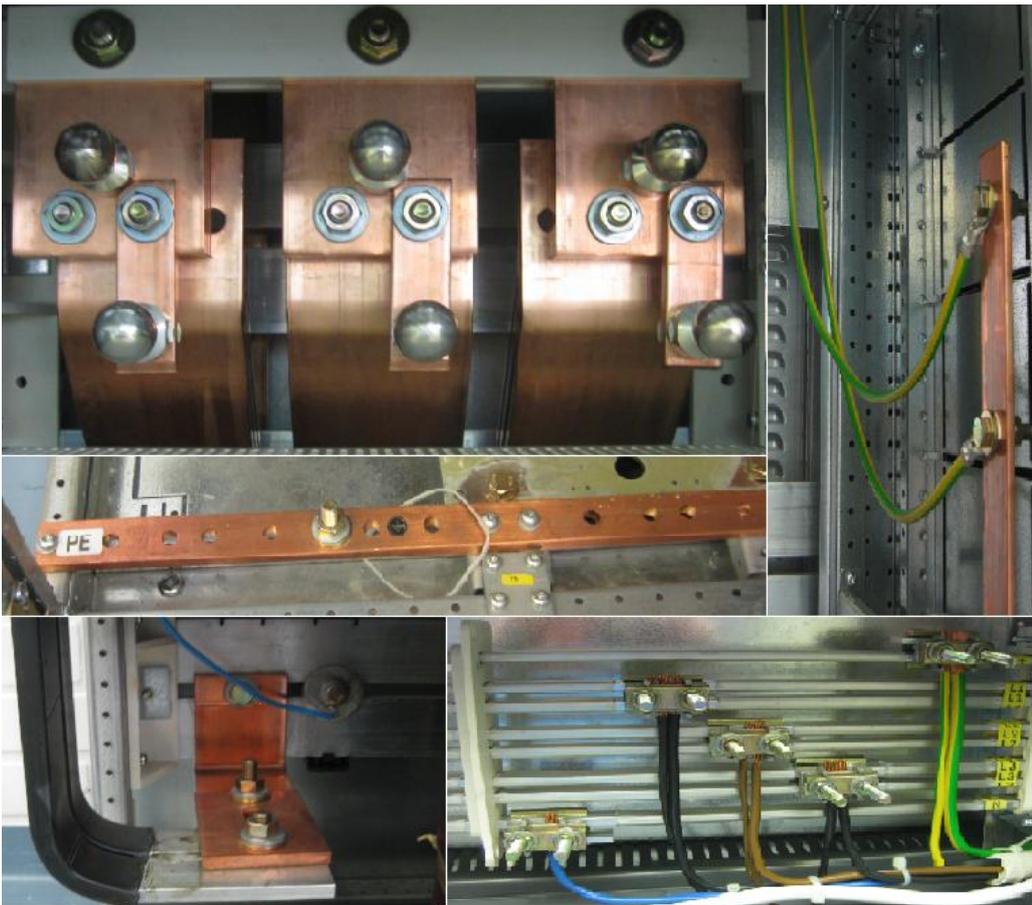
Kiskosilloilla on tukeva rakenne ja erittäin hyvä oikosulkukestoisuus, myös sähkönjakelun varmuus- sekä turvallisuustekijät puoltavat kiskosiltojen käyttämistä teollisuudessa. Valmistaja valmistaa kiskosillat kuljetuksen ja asennuksen helpottamiseksi sopivan mittaisiksi elementeiksi. Kiskosiltojen valmistajat voivat tapauskohtaisesti valmistaa myös asiakkaan toiveiden mukaisia erikoisrakenteita, mikäli johonkin kohteeseen ei löydy valmista ratkaisua. (Jantunen 2004.)



KUVA 15. Kosketussuojaamatonta rakennetta 1960-luvulta. Vanhoilla johdinväreillä maalatut virtakiskot tulevat kojeistolle seinässä olevan aukon läpi. Seinän takana on 10/0,4 kV muuntaja (teho 2 MVA) ja dynaaminen oikosulkuvirta on 150 kA. (Rytkönen 2009).



KUVA 16. Sähkönsyöttö kennokeskuksen kompaktikatkaisijaan on toteutettu kiskosiltaa käyttämällä (ABB 2011).

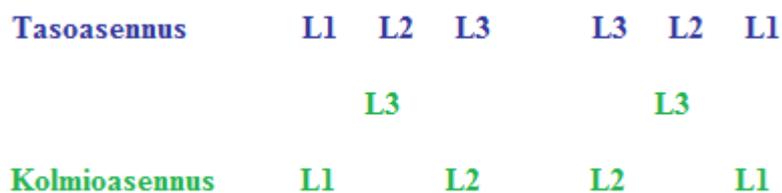


KUVA 17. Kupari- sekä alumiinivalmisteisia virtakiskoja, opinnäytetyössä käytetyistä keskuksista.

## 5.5 Suurvirtakaapelit

Teollisuuden sähköjakelussa käytetään usein suurten virtojen vuoksi yksijohtimisia suurvirtakaapeleita. Suurvirtakaapeleita valmistetaan alumiinisella sekä kuparisella johtimella useille eri jännitetasoille sekä johdinpoikkipinnoille. Esimerkiksi erään kaapelivalmistajan valikoimasta on valittavissa yksijohtimisia kaapeleita kuparisena 185 mm<sup>2</sup> poikkipinnasta lähtien, johdinpoikkipinnan kasvaessa 300 mm<sup>2</sup>, sekä sitä suuremmaksi valmistusmateriaaliksi vaihdetaan alumiini. (Prysmian Group 2011.)

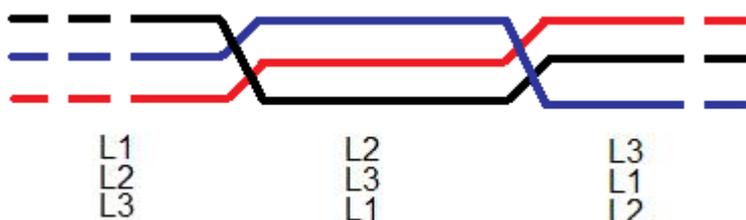
Jotta yksijohdinkaapeleilla päästäisiin mahdollisimman tasaiseen virranjakoon käytetään niiden asentamisessa samanlaisia ja yhtä pitkiä kaapeleita. Suurvirtakaapelien asentamisessa käytetään joko rinnakkaista tasoasennusta jokaiselle vaiheelle, jolloin jokainen kaapeli kulkee rinnakkain ja kaapeleiden välissä on ilmarako tai kaapelit voidaan asentaa niiden päästä katsottuna kolmion muotoisesti. Haaroitettaessa yksijohdinkaapelia on haaroitettavan vaiheen kaikki johtimet kytkettävä yhteen haaroituskohdassa. Johtimen mahdollisimman tasaisen lämpenemisen saavuttamiseksi ei saa osajohtimesta mitattu virta poiketa vaiheen osajohtimien virtojen keskiarvosta enempää kuin ±10 %, joka täytyy myös mittauksella todentaa. Yksijohdinkaapeleiden sijasta voidaan käyttää myös rinnankytkettyjä kaapeleita, jolloin on myös käytettävä aina samaa kaapelilajia, jotta virranjako säilyy tasaisena. Monijohtimisia kaapeleita voidaan käyttää myös yksivaihekaapelina, mutta tällöin kaapelin mahdolliset suoja-, ja PEN- ja nollajohtimet täytyy asentaa erillisinä kaapeleina. Mahdolliset suojajohtimet saa tässä tapauksessa yhdistää toisiinsa sekä maadoittaa vain kaapelin toisessa päässä. (Suomen sähkö- ja teleurakoitsijaliitto 2009, 224–225.)



KUVA 18. Yksijohdinkaapelien asennustavat (Suomen sähkö- ja teleurakoitsijaliitto 2009, 224).

Vaihtovirtakäytössä yksijohtimisten kaapeleiden metallivaippoihin (metallivaippa, konsentrinen johdin) indusoituu jännitteitä. Kaapelien metallivaipat täytyy yhdistää ja maadoittaa kummassakin päässä kaapelia. Indusoitunut jännite on suoraan verrannollinen kaapelissa kulkevaan virtaan, taajuuteen ja eri johdin- ja vaippapiirien välisiin keskinäisinduktansseihin. Kun kaapelien metallivaipat yhdistetään päissä ja jatkok-

sissa toisiinsa, saavat indusoituneet jännitteet aikaan metallivaipoissa tasoitusvirtoja, jotka synnyttävät lisähäviöitä ja ne lisäävät edelleen kaapelin lämpenemistä ja pienentävät sen kuormitettavuutta. Indusoituneen jännitteen suuruus on verrannollinen kaapelin pituuteen. Kun kyseessä on pitkä yksijohdinkaapelointi, voidaan käyttää vaihejohdinten vuorotteluperiaatetta. (Suomen sähkö- ja teleurakoitsijaliitto 2009, 224–225.)



KUVA 19. Vuorottelun periaate voimajohdoissa. Jokainen vaihejohdin pyritään kuljettamaan yhtä pitkän matkaa kussakin kohtaa, eli vuoroin vasemmalla, vuoroin keskellä ja vuoroin oikeassa reunassa (Rytkönen 2009).

## 5.6 Keskuksset

Sähkökeskukset ovat sähkön- jakelu- tai haaroituspisteitä, ne asennetaan yleensä sähkötilaan. Sähkökeskuksissa sijaitsevat pääkytkin tai katkaisija, kytkinvarokkeet, kytkimet, sulakkeet sekä riviliittimet johtolähdöille. Teollisuudessa sähkökeskuksiin keskitetään moottorien ohjaus- sekä käynnistys laitteiden sijainti, kiinteistön sähkön- jakelu sekä automaatiojärjestelmien ohjaus. Useimmiten sähkökeskukset asennetaan sisätiloihin, mutta ei välttämättä lämpimiin tiloihin. (Mäkinen, Kallio 2006, 108.)

Keskukset nimetään niiden käyttötarkoituksen mukaan pää- ja ryhmäkeskuksiksi, erilaisiksi moottori-, ohjaus-, mittaus-, säätö- ja hälytyskeskuksiksi. Lisäksi keskukset voidaan nimetä myös niiden rakenteen perusteella. Yleensä vaaditaan, että pääkeskukset sekä osa alakeskuksista asennetaan lukittavaan sisätilaan, jolloin sähkötilaan pääsevät vain sähköalan ammattihenkilöt tai tiettyjä toimenpiteitä tekemään opastetut henkilöt. Sähkötiloihin suositellaan koneellista ilmastointia sekä jäähdytyslaitteistoa sähkökeskusten tuottaman lämmön vuoksi. Sähkötila on paloturvallisuuden kannalta oma palotilansa, joten sähkötilasta lähtevien kaapeleiden läpiviennit eivät saa heikentää paloluokitusta, vaan läpiviennit täytyy tiivistää palokatkoilla. (Mäkinen, Kallio 2006, 108.)

Sähkökeskuksia valmistetaan metallista sekä muovista. Keskusten rakenteelta edellytetään tiettyä suojausluokkaa, joka suojaa kosketukselta sekä kosketusjännitteeltä sähköiskua vastaan. Sähkökeskuksille määritetään myös kotelointiluokat kosketusta, vieraita esineitä, epäpuhtauksia, pölyä sekä vettä vastaan. Henkilösuojauksen kannalta keskuksen käytön- ja huollonaikainen turvallisuus edellyttää, että sähkökeskuksen rakenne kestää sisäisiä vikatilanteita, kuten valokaaren sekä paineiskun. Sähkökeskuksella on oltava myös riittävä (EMC-suojaus), eli suojaustaso sähkömagneettisia häiriöitä vastaan. Sähkö- sekä automaatiokeskuksen valinnassa on merkitystä myös keskuksen asennustavalla sekä ulkonäöllä, varsinkin silloin kun keskus sijoitetaan näkyvälle paikalle, esimerkiksi nykyaikaiseen prosessivalvomoon. (Mäkinen, Kallio 2006, 108.)

#### 5.6.1 Kennokeskukset

Kennokeskuksia, eli kojeistoja käytetään pää-, nousu- sekä alakeskuksina, moottori- en ohjauskeskuksina tai näiden kaikkien yhdistelminä. Kennokeskukset valmistetaan yleensä sinkitystä teräslevystä. Useimmiten kennokeskukset ovat kosketussuojattuja lattialla seisovia rakenteita ja kennokeskusten kotelointiluokka on yleensä IP20 tai IP30. Keskuksen valmistaja tekee keskuksen valmiiksi mekaaniset ja sähköiset toiminnot sekä testaa keskuksen moottorikojeistot ja automaatiojärjestelmän, jotka nykyään ovat usein kenttäväyläkommunikoivia ennen keskuksen toimittamista asiakkaan asennuspaikalle. Kennokeskukset rakennetaan yleensä muutaman metrin mittaisiksi yksiköiksi, koska se helpottaa keskusten kuljetusta sekä lopullista paikoilleen asentamista. Keskuksen yksiköt liitetään asennuspaikalla toisiinsa pulttiliitoksilla. Teollisuudessa kennokeskusten nimelliskäyttöjännite on laitoksesta sekä sen järjestelmistä riippuen joko 400 V tai 690 V. Kennokeskukset ovat nimellisvirroiltaan yleensä useita tuhansia ampeereja. (Mäkinen, Kallio 2006, 108–109.)

##### 5.6.1.1 Rakenne ja varusteet

Edestäpäin katsottuna kennokeskukset ovat lattialla seisovia ja niiden kentät on rajattu pystysuuntaisesti. Kentät on aina numeroitu kasvavalla numerosarjalla esimerkiksi 01 – 02 – 03 - jne. tai numeroiden sekä kirjainten yhdistelmällä. Kenttä sisältää yhden tai useamman kennon, joihin on rakennettu lähtöyksiköt tai kentät ovat varatiloina, mikäli asennusta laajennetaan myöhemmin. Lähtöyksikköä osoittava tunnuskilpi kiinnitetään jokaiseen kennoon. Kennojen ovissa on lukkolaitteet, joita ohjataan yhdestä

pisteestä sekä yksi tai useampia salpoja oven koosta riippuen. Lähtökennosta kaapelointi suoritetaan kaapelikenttien kautta turvallisesti. Kaapelit kiinnitetään kiskoihin kaarikiinnikkeillä. Kaapelikentissä sijaitsee usein myös lähtöyksiköiden tarvitsema PE-kisko. Kaapelointi keskukseseen voidaan suorittaa joko keskuksen ylä- tai alapuolelta. Syöttöjännite muuntajalta keskukseseen järjestetään joko suurvirtakaapelilla tai kiskosillalla. (Mäkinen, Kallio 2006, 108–111.)

Keskuksen alla on kennosokkeli, joka korottaa keskusta lattianpinnasta. Kennosokkeli on korkeudeltaan 50 -100 mm ja siellä voidaan kuljettaa kenttien välisiä ohjauskaapeleita. Mahdollisia vikatilanteita varten on keskuksen kattorakenteella tärkeä merkitys, koska keskuksen sisällä syntyvän valokaaren aiheuttama paineisku purkautuu sähkökeskustilaan keskuksen katon kautta, joten kattorakenne toimii tässä tapauksessa räjähdysluukkuna. Paineiskun purkautuminen keskuksen katon kautta estää vaaralliset purkaukset keskuksen eteen ja sähkötilan hoitokäytävälle. Toimiakseen näin suunnitellulla tavalla täytyy kennojen kaikkien ovien olla aina suljettuna kokonaan, siis jokaisen salvan on oltava erikseen suljettu sekä lukittu. Tavaroiden säilyttäminen keskuksien katoilla on kiellettyä, eivätkä katot ole myöskään kävelemistä varten tarkoitettuja, koska keskukses tuottavat lämpöä ja jäähdytysilman kierrolle on oltava vapaa reitti keskuksen katon kautta ylöspäin. (Mäkinen, Kallio 2006, 108–111.)

Kennokeskus saadaan jännitteettömäksi keskuksen syöttökentän kannessa sijaitsevalla pääkatkaisijalla tai kuormakytkimellä. (Mäkinen, Kallio 2006, 108–111.)

Syöttökentässä sijaitsevat kuormitusten vaihevirtaa osoittavat virtamittarit sekä jännitettä osoittava mittari, josta haluttu jännite mittausta (L1-L2, L2-L3, L3-L1, L1-N, L2-N ja L3-N) väleiltä valitaan moninapaisella nokkakytkimellä. Mikäli kennokeskuksessa on monitoimimittari, voidaan sillä suorittaa tarvittavien sähkösuureiden mittausta. Monitoimimittari on mahdollista liittää myös automaatiojärjestelmään kenttäväylän avulla. Pääkeskuksena toimivissa keskuksissa on pätötehon mittaukseen kWh -mittari sekä tarvittaessa lisävarusteena kVAr -mittari loistehon kulutuksen mittausta varten. Keskuksen nimellisvirran ollessa yli 1000 A, on keskus voitava työmaadoittaa huolto- ja korjaustöiden ajaksi. Keskuksen varusteena voi olla erillinen työmaadoituskytkin, josta työmaadoitus voidaan turvallisesti suorittaa tai se voidaan suorittaa myös käyttämällä siirrettäviä työmaadoitusvälineitä. Siirrettävillä työmaadoitusvälineillä työmaadoitus suoritetaan kytkemällä työmaadoitusjohtimet keskuksen virtakiskoissa oleviin työmaadoituspalloihin sekä PE -kiskoon. (Mäkinen, Kallio 2006, 108–111.)

Lisäksi keskuksen arvokilvestä tulee käydä ilmi seuraavat tiedot:

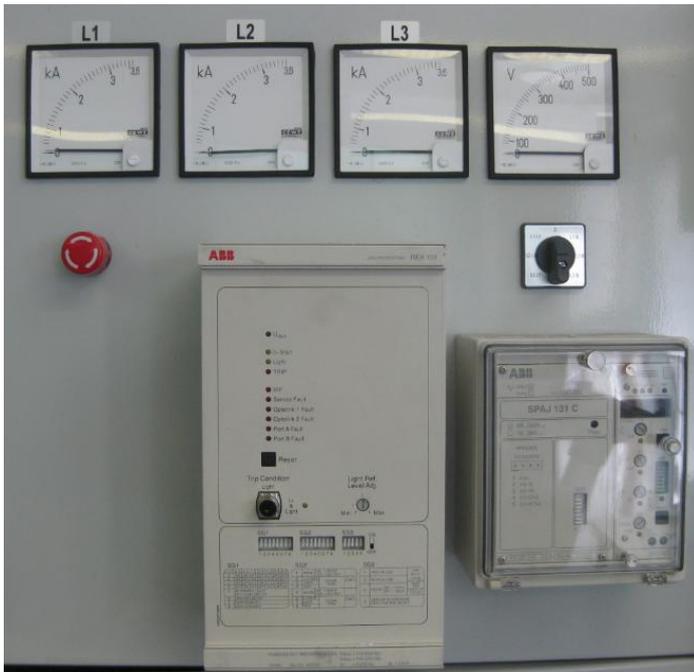
- valmistajan nimi tai rekisteröity tavaramerkki
- mallimerkintä tai tunnistenumero
- valmistajan vakuutusta osoittava CE -merkki

Keskuksen arvokilvessä tai tuoteselosteessa ilmoitetaan lisäksi keskuksen nimellisjännite, virtalaji, taajuus, oikosulkukestoisuus, kotelointiluokka, keskusstandardin numero sekä sertifiointitunnus. (Mäkinen, Kallio 2006, 108–111.)

Kennokeskuksen sisäiseen sähkönjakeluun kuuluvat pääpiirit sekä apupiirit. Pääpiireihin kuuluvat keskuksen kaikki ne osat, jotka on tarkoitettu sähkön siirtoon. Pääpiireissä sähkönjakelu on toteutettu joko alumiinisilla tai kuparisilla virtakiskoilla. Pääkatkaisijan tai -kytkimen jälkeiset vaakasuuntaiset pääkiskot (L1 - L2 - L3 - N - (PE), PE-kisko sijaitsee useimmiten kaapelikentässä) on yhdistetty jokaisen kentän kohdalla pystysuuntaisiin haarakiskoihin. Haarakiskoihin kytketään liitoskiskoilla tai monisäikeisillä johtimilla yksittäisten lähtöyksiköiden vaihejohtimet sekä mahdollisesti tarvittava nollajohdin. Lähtöyksikön nimellisvirran suuruus määrää käytettävän kytkentätavan. Pääpiirien ohjaukseen, mittaukseen, merkinantoon tms. tarkoitettujen keskuksen osat kuuluvat apupiireihin. Ohjausjännitteet apupiireille on usein kytketty ohjausjännitemuuntajan kautta. Ohjausjännitemuuntaja sijaitsee keskuksen sisällä ja jännite siihen syötetään suoraan keskuksen pääpiirien kiskostosta. Ohjausjännitemuuntaja pienentää oikosulkuvirtaa apupiirijännitteiden oikosulkutilanteessa ja silloin se toimii myös tehokkaana suojalaitteena, sillä ohjausjännitteen ottaminen suoraan kiskostosta ilman välissä olevaa ohjausjännitemuuntajaa aiheuttaisi vikakohtaan yhtä suuren oikosulkutehon, kuin koko keskuksen oikosulkuteho. Ohjausjännitteiden jakelu eri kennoille on järjestetty kaapeleilla tai ohjausjännitekiskoilla. (Mäkinen, Kallio 2006, 108–111.)

Kennokeskuksien sähkölähdöt ovat yleensä rakennettu yksikkölähtö periaatteella, jolloin yhdessä kennossa on vain yksi sähkölähtö. Erilaisia lähtöyksiköiden rakennetapoja ovat kiinteät lähdöt, ulosvedettävät lähdöt sekä ulosvedettävät kasettilähdöt. Kiinteissä lähtöyksiköissä on ruuviliitokset ja kiinteät johtoyhteydet. Jonkin yksittäisen komponentin vaihtaminen suorittaa jännitteettömänä työkaluja käyttäen tai erikoistapauksessa jännitetyönä. Ulosvedettävällä lähtöyksiköllä huoltotoimenpiteet sekä koko lähtöyksikön vaihtaminen voidaan tehdä työkaluja käyttäen jännitteisenä, mutta virratomana. Johtavat yhteydet keskuksen päin on toteutettu koskettimin ja lähtevät johtoyhteydet riviliittimiä käyttäen. Ulosvedettävä kasettilähtö voidaan ottaa keskukselta pois nimensä mukaisesti kuin kasetti, jolloin lähtöyksikkö saadaan vaihdettua ilman työkaluja jännitteet kytkettynä, mutta virratomana. Sekä johtavat yhteydet keskuks-

seen päin, että lähtevät johtoyhteydet, ovat molemmat toteutettu koskettimilla. (Mäkinen, Kallio 2006, 108–111.)



KUVA 20. Kennokeskuksen syöttökentän kansi: Virtamittarit joka vaiheelle, jännitemittari, nokkakytkin, jolla voidaan valita haluttu mitattava jännite, suojareleet, valokaa-  
rirele sekä ylivirtarele ja Häätä - Seis-painike.



KUVA 21. ABB: n MNS kennokeskus (ABB 2000).

## 5.6.2 Kotelokeskukset

Kotelokeskuksia käytetään teollisuudessa prosessitilojen ala- sekä ryhmäkeskuksina, Kotelokeskukset ovat kosketussuojattuja jakokeskuksia ja niitä valmistetaan metallista sekä muovista. Metalliset keskukset valmistetaan yleensä kuumasinkitystä ohutlevystä ja maalipinta viimeistellään pulverimaalauksella. Kotelointiluokaltaan metalliset keskukset ovat yleensä luokkaa IP44. Sään ja UV- valon kestävästä muovista valmistetut keskukset ovat yleensä kotelointiluokaltaan parempia, ja niiden kotelointiluokka voi olla jopa IP65. Keskuksen valmistaja tekee keskuksen valmiiksi asiakkaan tarvitsemat mekaaniset ja sähköiset kytkennät sekä testaa keskuksen ennen sen toimitamista asiakkaalle. Kotelokeskukset valmistetaan useimmiten 400 V nimellisjännitteelle ja enimmillään 630 A nimellisvirralle. Kotelokeskukset valmistetaan yhdessä osassa ja kiinnitetään lopullisessa asennustilassaan kohteen seinäpinnoille tai erilliseen keskustelineeseen. (Mäkinen, Kallio 2006, 112.)

### 5.6.2.1 Rakenne ja kalustus

Kotelokeskukset voidaan koota palapelimäisesti, koska niiden rakenne edustaa moduulirakennetta. Eri moduulit on yhdistettävissä toisiinsa ruuvi-mutteriliitoksilla. Sähköiset kytkennät vierekkäisten koteloiden välillä tehdään koteloiden välisten aukkojen kautta. Metallivalmisteisten kotelokeskuksien runkorakenne maadoitetaan yhdistämällä runko keskuksen suojamaadoituskiskoon. Muovista valmistetut kotelot ovat rakenteeltaan suojaeristettyjä ja niiden kojeiden asennuslevyjä ei yhdistetä suojamaadoituskiskoon. Keskuksen kaapeloinnissa syöttökaapeli kuljetetaan keskuksen vedonpoistajalla varustetun kaapelipäätteen läpi, ryhmäjohtojen läpiviennit suoritetaan laippojen lävitse. Laipat ovat kierteillä varustettuja holkkitiivistelaippoja, läpilyöntilaippoja joihin tulee asentaa kalvotiivisteet tai kiinteillä kalvotiivisteillä varustettuja laippoja. Se millaista laippaa missäkin tilanteessa käytetään, riippuu keskukselta lähtevän kaapelin vahvuudesta. Useimmiten kotelokeskuksen pääkytkimenä käytetään kuormankytkintä, joka on myös hinnaltaan paljon edullisempi verrattuna esimerkiksi kompaktikatkaisijaan. (Mäkinen, Kallio 2006, 112.)

Sisäinen sähkönjakelu kotelokeskuksissa voidaan toteuttaa, joko käyttämällä virtakiskoja, eristettyjä johtimia tai näiden molempien yhdistämistä, jota myös opinnäytetyön kotelokeskuksen sähkönjakelun toteuttamisessa on käytetty. Komponentit, kuten sulakepohjat kiinnitetään metallisiin aluslevyihin ja asennuslevyt ruuvataan keskuksen runkoon asennuskehikoihin. Riviliittimet, kytkimet sekä releet kiinnitetään yleensä DIN-asennuskiskoon ja asennuskiskot niiden päistään asennuskehikoihin. Jännittei-

set osat täytyy olla kosketussuojattu ja suojaus toteutetaan yleensä irrotettavilla eristysaineisilla kosketussuojalevyillä. Kotelokeskuksissa lähtöyksiköt ovat asennettuina kiinteästi. Kalustamistapoja on esimerkiksi yksikkölähtökalustus, jossa jokainen lähtöyksikkö on oman ovensa takana sekä yhtenäiskenttäkalustus eli kaappikalustus, jolloin useampia sähkölähtöjä on koottu yhden oven taakse. (Mäkinen, Kallio 2006, 112.)



KUVA 22. Opinnäytetyössä käytetty jakokeskus on myös tyypiltään kotelokeskus, keskus on kiinnitetty seinään erillisillä kiinnityskiskoilla. Syöttökaapeli keskuksen tulee ylhäältä ja keskukselta lähtevä kaapelointi on keskuksen alapuolella. Keskuksen pääkytkimenä on kuormakytkin.

### 5.6.3 Kaappikeskukset

Kaappikeskuksia käytetään sähköisten ohjauslaitteiden koteloina, niihin on keskitetty toimilaitelähtöjen yksiköitä, automaatiolaitteistoja sekä prosessiasemia. Kaappikeskukset ovat rakenteeltaan kosketussuojattuja ja yleensä kaappikeskus on asennettu lattialla seisovaksi ja sisältää yhden tai useamman kentän. Kaappikeskuksia valmistetaan useassa eri koossa ja rungon valmistusmateriaalina käytetään useimmiten maalattua teräspeltiä. Mikäli keskus asennetaan sellaiseen tilaan, jossa se on alttiina

voimakkaalle korroosion vaikutukselle, voidaan valmistusmateriaalina käyttää myös ruostumatonta tai haponkestävää teräslevyä. Tällöin puhutaan jaloteräskaapeista. (Mäkinen, Kallio 2006, 113–114.)

Keskuksen kaapelointi tehdään yleensä keskuksen sokkelitilaan tiiviiden pohjalevyjen välistä tai mahdollisesti lattian läpi. Sähköisten komponenttien kiinnittämistä varten on keskuksessa asennuslevyt, kuten myös kotelokeskuksissa. Asennuslevyt on irrotettavissa keskuksen kokoonpanotyön ajaksi. Kaappikeskuksien ovet toimivat usein myös valvontatauluina ja ohjauspaikkoina, jolloin oviin on voitu asentaa kytkimiä, merkkilamppuja, piirtureita, mittareita, yms. komponentteja. Pääkytkimenä käytetään yleensä kuormankytkintä. (Mäkinen, Kallio 2006, 113–114.)

## 6 SÄHKÖVERKON SUOJAUSRAKENTEITA

### 6.1 Sulakesuojaus

Teollisuudessa käytettävät sulakkeet ovat suurimmaksi osaksi kahvasulakkeita, lukuun ottamatta joillakin pienillä johtolähdöillä sekä huoltoverkossa käytettäviä tulpasulakkeita ja automaattisulakkeita. Sulakkeen käyttäminen suojaukseen rajoittuu yleensä pienjännitteelle, mutta sulakkeita käytetään myös keskijännitteellä jakelumuuntajien sekä moottorien suojalaitteena. Pienjänniteverkossa kahvasulakkeita käytetään suojaukseen edullisen hinnan, turvallisuuden, selektiivisyyden sekä hyvän virranrajoituskyvyn vuoksi. (ABB 2000, 197–216.)

Pienillä nimellisvirroilla sulake toimii erittäin hyvänä oikosulkuvirran rajoittajana. Kahvasulake rakentuu runkolieriöstä, sulakehiekasta ja liuskasta tai langasta, joka on sulakkeen toiminnallinen osa. Langan tai liuskan mitoituksella saadaan sulakkeelle sen haluttu toimintaominaisuus. Sulakehiekkä taas sitoo valokaarella syntyvän energian. Kahvasulakkeita valmistetaan standardisoiduille nimellisvirroille aina 2 ampeerista lähtien 1600 ampeeriin saakka. (ABB 2000, 197–216.) Kahvasulakkeiden kokojärjestys on porrastettu yhdeksälle erikokoiselle sulakkeelle. Sulakkeiden kokojärjestys alkaa koosta 000, joka on pienin kahvasulakekoko. Seuraavat koot ovat. 00, 0, 1, 2, 3, 4, 4a ja 5 joka on suurin kahvasulakekoko. Sulakkeen tyyppimerkinnästä käy ilmi sulakkeen koko sekä sen toimintaa kuvaava kirjaintunnuslyhennys. (ABB 2009.)

TAULUKKO 1. Varokealustojen sekä kahvasulakkeiden suurimmat sallitut nimellisvirrat, koossa 00 - 4a (ABB 2000, 211.)

Koko	Alusta	gG		aM	
		500 V	690 V	500 V	690 V
	$I_n/A$	$I_n/A$	$I_n/A$	$I_n/A$	$I_n/A$
00	160	160	100	100	160
0	160	160	100	160	160
1	250	250	200	250	250
2	400	400	315	400	400
3	630	630	500	630	630
4	1000	1000	800	1000	1000
4a	1250	1250	1000	1250	1250

Kahvasulakkeiden toimintaa kuvaavien kirjaintunnusten merkitys:

Ensimmäinen kirjain ilmaisee katkaisualueen:

g = koko alueen kattava katkaisukyky, sekä oikosulku- että ylikuormitussuojaksi soveltuva sulake

a = osa-alueen kattava katkaisukyky, vain oikosulkusuojaksi soveltuva sulake (ABB 2000, 211.)

Toinen kirjain ilmaisee käyttökohteen:

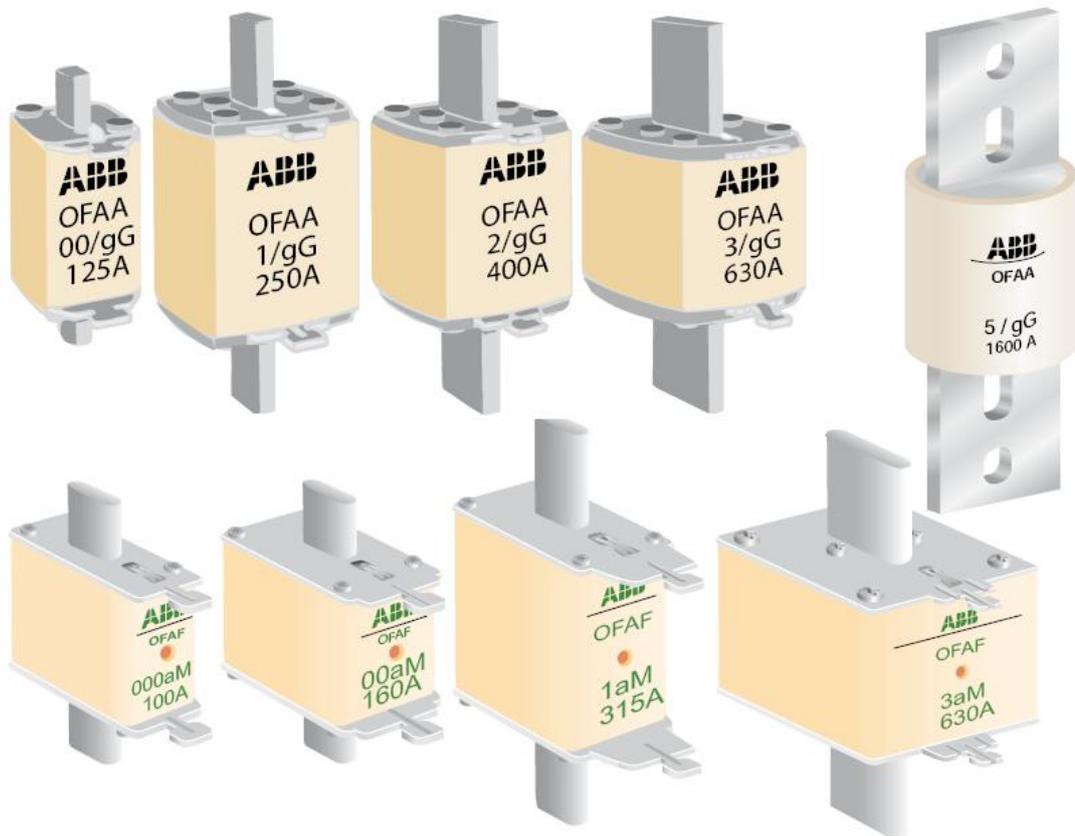
G = johdon suojaukseen tarkoitettu sulake

M = moottorin suojaukseen tarkoitettu sulake

gG = yleiskäyttöön tarkoitettu sulake, johdon ylikuormitus- ja oikosulkusuojaukseen

aM = moottoripiirin suojasulake, jonka katkaisukyky käsittää virran tietyn osa-alueen

gM = moottoripiirin suojasulake, jonka katkaisukyky käsittää koko virta-alueen (ABB 2000, 211.)



KUVA 23. Kahvasulakkeita eri käyttötarkoituksiin (ABB 2009).

## 6.2 Relesuojaus

Suojareleet ovat suuretta mittaavia laitteita ja ne toimivat silloin mitattava suure ylittää tai alittaa sille asetetun tietyn arvon. Releet asetellaan tietyille toiminta-arvolle ja releen havahtuminen tapahtuu kun releen toiminta-arvoa sivutaan ja tällöin rele antaa katkaisijalle laukaisuvirikkeen. Mikäli releen toiminta-aika ei sisällä tahallista hidastusta, on releen toiminta vain hetkellinen. Hidastetuissa releissä toiminta-aikaan sisältyy vakioaikareleillä vakiohidastus ja käänteisaikareleillä kääntäen verrannollinen hidastus mittasuureeseen nähden. (ABB 2000, 217–226).

Suojauksen toimintanopeuteen voidaan vaikuttaa oikean suojaustavan valinnalla. Oikealla suojaustavan valinnalla on suuri vaikutus niihin haittoihin, joita oikosulkutilanteessa syntyy. Suojauksen nopea toiminta pienentää merkittävästi vaaratekijöitä ja vahinkoja sekä verkon termistä rasitusta. Oikosulku aiheuttaa jännitekuopan vian ajaksi. Jännitekuopan kesto jää sitä lyhyemmäksi mitä nopeammin suojaus toimii. Alijännitteen aiheuttamat haitat verkon muille osille jäävät tällöin mahdollisimman pieniksi. Nopealla suojauksella vähennetään myös vikatilanteen jälkeisiä kuormitus-sysäyksiä, jotka yhdessä jännitekuopan kanssa lisäävät häiriön leviämiskärsiä verkon terveisiin osiin. (ABB 2000, 217–226).

Erilaisia releitä on olemassa moniin eri käyttötarkoituksiin ja relesuojauksella voidaan toteuttaa monia erilaisia suojaustoimenpiteitä. Tässä osiossa keskitytään kuitenkin vain opinnäytetyön kannalta olennaisimpiin relesuojauksiin eli ylivirtareleeseen ja valokaarireleeseen. (ABB 2000, 217–226).

### 6.2.1 Ylivirtarele

Ylivirtareleeseen toiminta perustuu suojattavan kohteen vaihevirtojen jatkuvaan mittamiseen. Vikatapauksessa suojarele hälyttää, ohjaa katkaisijaa tai käynnistää ulkoiset jälleenkytkentätoiminnot, jotka riippuvat valitusta suojaustavasta. Kun jonkin vaiheen virta ylittää ylivirtaportaalille asetellun arvon  $I>$ , ylivirtarele havahtuu. Ylivirtareleellä voidaan toteuttaa suojaus ylikuormitusta vastaan. Verkon tärkeät komponentit, kuten moottorit, generaattorit, kaapelit yms. suojataan integroivalla ylikuormitussuojalla. Esimerkiksi moottorinsuojareleeseen on sisällytetty integroiva ylikuormitussuoja. (ABB 2000, 217–226).

Muuntajien sekä pyörivien sähkökoneiden suojauksessa käytetään erityisesti niiden suojaukseen soveltuvia releitä. Suojattavan haaran sisältäessä runsaasti impedanssia lisääviä laitteita, kuten muuntajia, voidaan suojauksessa käyttää virtaselektiivisyyttä. Suojauksen perustuessa virtaselektiivisyyteen on suojauksen toiminta aina varmistettava erillisellä varasuojauksella. Ylivirtarele sopii hyvin varasuojalaitteeksi virtaselektiivistä suojausta käytettäessä. Teollisuudessa hyvin yleisten säteittäisten verkkojen maasulkusuojauksessa suojaus voidaan toteuttaa käyttämällä nolajännitettä mittaavaa ylijänniterelettä ja nolavirtaa mittaavaa ylivirtareleettä tai maasulun suuntareleettä. (ABB 2000, 217–226).

### 6.2.2 Vakioaikaylivirtarele

Toiminta-ajallisesti aseteltava vakioaikaylivirtarele saadaan aikaan yhdistämällä ylivirtarele sekä aikarele. Vakioaikaylivirtareleeseen toiminta-aika ei ole riippuvainen ylivirran suuruudesta. Käänteisaikaisena toimiessaan releen toiminta taas on sitä nopeampaa mitä suurempi on mitattu virta. Mitattavan virran ylittäessä asetetun arvon rele havahtuu ja toimii oltuaan havahtuneena asetteluajan. Vakioaikaylivirtareleillä voidaan toteuttaa säteittäisten verkkojen oikosulkusuojaus, porrastamalla releiden toiminta-aikoja, jolloin suojauksesta saadaan selektiivinen. Suojausportaiden välistä lukitusta käyttämällä saadaan lyhennettyä suojauksen toiminta-aikaa huomattavasti, koska havahtunut suojarеле lukitsee edeltävän suojarелеen toiminnan. (ABB 2000, 217–226).

Selektiivisen suojauksen toteuttamisessa on yksinkertaisinta käyttää aikaselektiivisyyttä. Aikaselektiivisessä suojauksessa porrastetaan suojauksen toiminta-aikoja siten, että vikakohtaa lähimpänä oleva rele toimii aina ensimmäisenä. Aikaselektiivinen suojaus voidaan toteuttaa ylivirtareleillä, jotka toimivat joko vakioaikaisina tai käänteisaikaisina. Parhaiten aikaselektiivinen suojaus soveltuu juuri säteittäisten verkkojen suojaukseen. (ABB 2000, 217–226).

Käänteisaikainen suojaus soveltuu myös erittäin hyvin säteittäisten verkkojen suojaukseen, joissa muutokset kytkentätilanteissa aiheuttavat pieniä vaihteluja oikosulkuvirtatasoihin tai oikosulkuvirtojen erot johtojen päiden välillä ovat suuria. Suojauksen toiminta-aikaa voidaan tällöin nopeuttaa käyttämällä suurilla vikavirroilla käänteisaikasuojauksista verrattuna vastaavan vakioaikasuojauksen käyttöön. Selektiivisen suojauksen toteuttaminen käänteisaikaista suojausta käyttämällä on helppoa myös sulakkeiden kanssa. (ABB 2000, 217–226).

### 6.2.3 Valokaarirele

Kojeiston sisällä tapahtuva valokaarivaurio on pahin mahdollinen sähkönjakelua tai sähkökäyttöä kohtaava onnettomuus. Valokaarivauriosta aiheutuvat aineelliset vahingot ovat yleensä aina suuria. Lisäksi valokaari aiheuttaa suuria vaaroja sähkölaitteiston käyttö- ja huoltohenkilöstölle. Valokaari voi syntyä ulkoisista ja sisäisistä syistä. Esimerkiksi tilanne, jossa työkalu tai jotakin muuta johtavaa materiaalia on huolto- tai muutostöiden aikana unohtunut keskuksen sisään, tai silloin kun likaa on epäsuotuisissa ympäristöoloissa kerääntynyt tukieristinsiin. Mikäli käyttöympäristössä syntyneet kaasut tai lika pystyvät kehittämään virtaa johtavan sillan kahden vierekkäisen vaiheen välille, syttyy useiden tuhansien ampeerien suuruinen valokaari, jonka lämpötilalta voi olla jopa 10000 °C. Tällaiset olosuhteet synnyttävät kojeiston sisään valotavan paineen. (ABB 2000, 311–313.)

Valokaaren seuraukset ilmenevät:

- valtavana lämpötilan nousuna valokaaren välittömässä läheisyydessä,
- kojeistopalona,
- myrkyllisinä kaasuina ja
- rakenteita rikkovana paineiskuna. (ABB 2000, 311–313.)

Kojeistoja suunniteltaessa pyritään minimoimaan valokaaren syttymismahdollisuus, mutta on kuitenkin taloudellisesti mahdotonta rakentaa täysin valokaarelta suojattuja laitteistoja. Tämän vuoksi rakenteista tehdään sellaiset, että mainitut valokaari-ilmiön haitalliset seuraukset jäävät mahdollisimman pieniksi. Valokaaren aiheuttamien vaurioiden kannalta tärkein tekijä on valokaaren palamisaika. Valokaarireleet ja valokaarivahdit on kehitetty juuri tämän valokaaren palamisajan minimoimiseksi. Niiden olennaisin osa on anturi, joka havaitsee valokaaren. (ABB 2000, 311–313.)

Valokaarireleiden valmistajista esimerkiksi ABB:lla on olemassa kahdentyyppisiä valokaariantureita. Kuitukaapelisensori havaitsee valoa koko pituudeltaan, se on etu kun toteutetaan nykyaikaisen pitkälle koteloidun kojeiston valokaarisuojausta. Kierrättämällä samaa kuitua monen osaston kautta, saadaan mahdollisimman hyvä suojaus valokaarta vastaan koko kojeiston osalta. Toinen on linssityyppinen anturi, jossa valo pääsee kuituun, kuidun päässä olevan linssin kautta. Linssityyppisiä antureita tarvitaan yleensä yksi anturi valvottavaa tilaa kohti. Linssityyppisen anturin etuina ovat sen helppo asennettavuus jo olemassa oleviin kojeistoihin ja hyvä mekaaninen kestävyys. Valokaarireleissä esiintyy myös virheellisiä laukaisutoimintoja, jotka vältetään käyttämällä lisäehtona releen laukaisulle ylivirtatietoa, esimerkiksi kytkemällä valokaarireleen koskettimien kanssa sarjaan yksi ylivirtareleen kosketin, tällöin valokaari-

releen havahtuessa täytyy myös virran kasvaa suuruudeltaan oikosulkua vastaavaksi. (ABB 2007.)

### 6.3 Suojaus kytkimellä tai katkaisijalla

Sähköenergian syöttö kojeistoon tapahtuu syöttöyksikön kautta. Luotettavan avausvälin aikaansaamiseksi ja keskuksen pääpiirin erottamiseksi käytetään kuormankytkintä tai tehokatkaisijaa. Kuormankytkintä käytettäessä keskuksen oikosulkusuojaus toteutetaan käyttämällä erillistä relettä, joka laukaisee katkaisijan keskijänniteverkon puolelta. Käytettäessä erillistä relettä myös kiskosilta on suojattavissa, tällöin virtamuuntajat sijoitetaan kiskosillan alkupäähän, heti muuntajan alajänniteliitännän jälkeen. Tehokatkaisijalla toteutetaan ylivirtalaukaisu, oikosulkusuojaus ja katkaisijan kauko-ohjaus. Tehokatkaisija voi olla tyypiltään niin sanottu kompaktikatkaisija tai vaunurakenteinen ilmakatkaisija. Vaunukatkaisijassa katkaisutapahtuma tapahtuu suljetun oven takana ja katkaisijan käyttötoimenpiteet voidaan suorittaa ovia avaamatta. Syöttöyksikön apulaitteet, kuten kiinteä valokaarisuoja, maasulun valvontarele ja ylivirtareleet sijoitetaan pääkojetilasta erotettuun apulaitekenttään. (Rissanen 2010.)

#### 6.3.1 Kuormankytkin

Keskusten pääkytkiminä, kiskostojen ja kaapeleiden erotuskytkimenä sekä laitteiden erotuskytkiminä voidaan käyttää kuormankytkintä. Kuormankytkintä käytetään myös turvakytkimenä silloin kun halutaan estää laitteiden odottamaton käynnistyminen. Kuormakytkimet on suunniteltu kestämään virtapiirissä kytkentä ja katkaisutapahtumassa esiintyvät virrat sekä johtamaan tietyn aikaa oikosulkuvirtoja. Kuormankytkimiä valmistetaan kolmi- sekä nelinapaisina rakenteina (L1 - L2 - L3) ja (L1 - L2 - L3 - N). Kuormakytkimet ovat käsin ohjattavia, niissä ei ole omaa ylivirtarelettä, joten kuormankytkin on suojattava aina katkaisijalla tai sopivan kokoisella sulakkeella syötön puolelta. Kuormankytkimiä valmistetaan 16 - 3150 A suuruisille nimellisvirroille sekä 400 - 1000 V nimellisjännitteelle. Erottamiseen soveltuvat kuormankytkimet rakennetaan sähköturvallisuuden näkökulmasta sellaisiksi, että kytkimen vipu tai väänin ilmaisee luotettavasti kytkimen asennon. (standardi SFS 6002: 6.2.1) Lisäksi niiden on täytettävä erottimelle asetetut erottamisvaatimukset auki -asennossa. (Mäkinen, Kallio 2006, 118–119.)

### 6.3.2 Katkaisijat

Virtapiireissä katkaisijat edustavat niin kutsuttua sulakkeetonta suojaamista. Teollisuudessa katkaisijoita käytetään suurjännitekojeistojen, pääkeskusten, alakeskusten sekä yksittäisien laitteiden suojaamiseen ja virtapiirien avaamiseen ja sulkemiseen. Rakenteeltaan katkaisijat voivat olla keskuksen kennosta ulosvedettäviä, kennosta irrotettavia tai kennoon kiinteästi asennettuja. (Mäkinen, Kallio 2006, 115–116.) Katkaisija on mekaaninen kytkinlaite, joka kytkee ja katkaisee virtapiirin koskettimiensa avulla. Katkaisutapahtumassa syntyy katkaisijan koskettimien välille valokaari. Valokaaren on sammuttava nopeasti, jotta laitteet, joiden suojaksi katkaisija on hankittu, eivät joudu alttiiksi termiselle (lämpö) ja dynaamiselle (mekaaninen) rasitukselle. (Suomen sähkö- ja teleurakoitsijaliitto ry 2004, 216.) Katkaisijalla on mahdollista avata tai sulkea virtapiiri nimellisvirralla ja oiko- ja maasulkutapauksissa ylivirralla, joka voi olla nimellisvirtaa moninkertaisesti suurempi. (Mäkinen, Kallio 2006, 115–116.)

### 6.3.3 Ilma- ja kompaktikatkaisijat

Ilmakatkaisijassa koskettimet ovat vapaassa tilassa, jossa vallitsee normaali ilmanpaine. Koskettimet on eristetty ympäristöstään tulenkestävällä valokaarisuojauksella. (Mäkinen, Kallio 2006, 115.) Ilmakatkaisijat ovat yleensä metallirunkoisia ja katkaisijan laukaisutoiminnot, avaaminen sekä sulkeminen toteutetaan jousen avulla. Laukaisujousi voidaan virittää joko käsin tai moottoriviritteisesti. Laukaisujousten avaaminen sekä sulkeminen suoritetaan katkaisijan etulevyssä olevilla painonapeilla tai käyttämällä kauko-ohjausta. (Suomen sähkö- ja teleurakoitsijaliitto 2004.) Ilmakatkaisijoita valmistetaan 690 - 1000 V:n jännitteelle ja useille eri nimellisvirroille sekä katkaisukyvyllä. (Mäkinen, Kallio 2006, 115.)

Kompaktikatkaisija on kiinteärakenteinen, kaksi- nelinapainen katkaisijarungosta ja siihen valittavasta suojareleestä muodostuva valettu kotelo, joka on täytetty eristysaineella. (Suomen sähkö- ja teleurakoitsijaliitto 2004.) Kompaktikatkaisija soveltuu hyvin pienjännitteisten jakeluverkkojen ylivirtasuojaukseen, moottorien käynnistimien suojaukseen ja kuorman erottamiseen. Kompaktikatkaisijan pääkoskettimia käytetään pääsääntöisesti suoraan käyttövivun avulla mekaanisesti. Sähköturvallisuuden kannalta kompaktikatkaisijassa on luotettava käyttövivun asennon osoitin ja käyttövipu on myös lukittavissa. Lisävarusteita kompaktikatkaisijaan on saatavilla muun muassa alijännitekela, työvirtalaukaisin, vikavirtasuojakytkin, apukoskettimia ja moottorinohjain. Kompaktikatkaisijoita valmistetaan 690 V:n jännitteiseksi saakka ja katkaisukyvyltään 150 kA asti. (Mäkinen, Kallio 2006, 115–116.)

## 7 MAADOITUS JA MAASULKUTILANTEET

### 7.1 Teollisuuden maadoitukset

Teollisuuslaitoksissa maadoitukset rakennetaan parantamaan sähköturvallisuutta, häiriösuojausta ja suojaamaan ilmastollisia ylijännitteitä vastaan. Teollisuuden sähköasentajien ja huoltohenkilöstön tehtävänä on maadoitusjärjestelmien huolto- ja kunnossapito. Huolto- ja kunnossapitotoimenpiteet suoritetaan määräajoin tehtävillä aistinvaraisilla tarkastuksilla sekä sähköisillä mittauksilla, joilla todetaan maadoitusjärjestelmän kunto. Mittausten tuloksia verrataan käyttöönottotarkastuksissa tehtyihin mittaustuloksiin. (Mäkinen, Kallio 2006, 11.)

### 7.2 Maadoituksen tarkoitus

Sähköturvallisuuden kannalta maadoitusten ensisijainen tehtävä on estää vikatapauksissa liian suurten kosketus- ja askeljäännitteiden syntyminen. Kosketusjännite ( $U_k$ ) maata vastaan on suoraan verrannollinen maadoitusresistanssin ( $R_m$ ) ja vikavirran ( $I_v$ ) arvoon, koska ( $U_k = R_m \cdot I_v$ ). (Mäkinen, Kallio 2006, 11.)

Vikavirran suurin arvo löytyy aina sähköenergian syöttöpisteen läheltä ja arvo pienee sitä mukaa kun etäisyys syöttöpisteeseen kasvaa. Maadoitusresistanssi taas on sitä suurempi, mitä huonompi maadoitus pisteestä löytyy. Tämän vuoksi kaikki johtavat rakenteet on kytkettävä samaan potentiaaliin. Koko järjestelmä yhdistetään mahdollisimman pienen maadoitusresistanssin omaavaan maadoituselektrodiin. (Mäkinen, Kallio 2006, 11.)

Häiriösuojauksen kannalta maadoitusresistanssin arvolla ei ole merkitystä, vaan häiriösuojauksessa järjestelmän tärkein ominaisuus on potentiaalintasaus. (Mäkinen, Kallio 2006, 11.)

Ukkossuojauksella eli suojaamisella ilmastollisia ylijännitteitä vastaan, pienennetään salamaniskun aikaansaamia mekaanisia, sähköisiä ja lämpenemisvaikutuksia. Lämpövaikutus korostuu salaman iskiessä eristävään tai huonosti johtavaan materiaaliin. Isku saa aikaan voimakkaan lämpenemisen aineessa ja se kuumenee voimakkaasti. Mekaanisia vaurioita voi esiintyä rinnakkaisissa johtimissa ja virtakiskoissa, jotka saattavat salamaniskun seurauksena repeytyä pois paikoiltaan. Sähköisiä vaikutuksia ovat läpilyönnit sähkölaitteiden ja kaapeleiden eristyksissä sekä sähkönjakelujärjestelmien maasulut. (Mäkinen, Kallio 2006, 11.)

### 7.3 Maasulku

Maasulku syntyy, kun jännitteinen johdin joutuu kosketuksiin maapotentiaalin kanssa. Maasulku voi syntyä joko suoraan tai valokaaren välityksellä. Maasulku on siis sähköinen vikatilanne, jossa eristeaineessa syntyy läpilyönti jännitteisen osan ja maan välillä. Maasulku voi tapahtua esimerkiksi silloin, kun maankaivutöissä vaurioitetaan maakaapelin eristettä, ja vaihejohdin pääsee kosketuksiin maan kanssa, tai tapauksessa, jossa vaihejohdin katkeaa tai irtoaa liittimestään aiheuttaen maasulun. (Rouhiainen 2008.)

Maasulkuutilanteessa muodostuu vikavirtapiiri, jossa virran suunta on vikaantuneesta vaiheesta maahan päin. Näin muodostunutta virtaa kutsutaan maasulkuvirraksi. Maasulkuvirta vaikuttaa maadoitusjännitteeseen ja aiheuttaa sitä kautta vaarajännitteitä. Maasulkuvikoja saattaa myös esiintyä samaan aikaan useammassa vaiheessa, jolloin on kyseessä kaksivaiheinen maasulku eli kaksoismaasulku tai kaksivaiheinen tai kolmivaiheinen maaikosulku. (Rouhiainen 2008.)

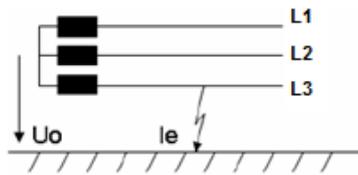
Maasulkuutilanteessa jännite vioittuneessa tai viallisessa johtimessa putoaa nopeasti ja terveiden vaiheiden jännitteet maata vastaan kasvavat, jopa kaksinkertaisiksi, vaiheiden välisten jännitteiden pysyessä kuitenkin samoina. Maasulun tapahtumispisteessä vikaantuneen vaiheen jännite pysyy nollassa niin kauan, kunnes vika on poistunut tai poistettu verkosta. (Rouhiainen 2008.)

### 7.4 Kaksoismaasulku

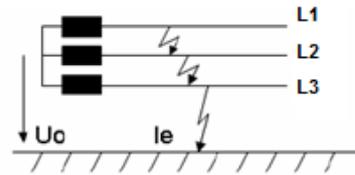
Kahden vaiheen eristysvian tapahtuessa eri kohdissa johtoa, puhutaan kaksoismaasulusta. Kaksoismaasulku muistuttaa luonteeltaan kahden vaiheen välistä oikosulkuja, sillä vikavirta, joka kaksoismaasulutapauksessa on yleensä suuri, kulkee osan matkastaan maan kautta. Vikapaikat kaksoismaasulussa saattavat sijaita toisistaan kaukana. Vikapaikkojen sijaitessa verkon eri osissa vaikeutuu kaksoismaasulun havaitseminen suojaruleilla huomattavasti, koska maasulkuvirratt jäävät silloin pieniksi. (Rouhiainen 2008.)

Usein kaksoismaasulku on edeltänyt yksivaiheinen maasulku, jossa jännite terveissä vaiheissa on kasvanut ja aiheuttanut läpilyönnin toisessakin vaihejohtimessa tai se voi syntyä maasulun alkutilanteen muutosilmiöiden seurauksena. Tilanne on erittäin vaarallinen esimerkiksi teollisuudessa, jossa on paljon metallisia rakenteita, jotka tulevat kaksoismaasulun seurauksena jännitteisiksi. Kaksoismaasulun aiheuttamat

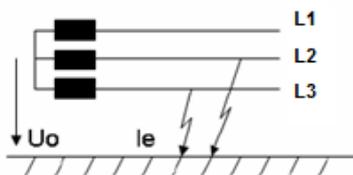
haittavaikutukset saadaan pienemmiksi varmistamalla maasulkusuojauksen nopea ja luotettava toiminta. (Rouhiainen 2008.)



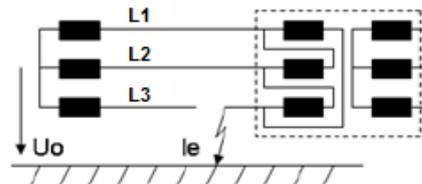
Yksivaiheinen maasulku



Kaksi- tai kolmivaiheinen maaikosulku



Kaksoismaasulku



Johdinkatkos ja yksivaiheinen maasulku kuorman puolella

KUVA 24. Erilaisia maasulkutapauksia  $I_e$  = maasulkuvirta,  $U_0$  = nolajännite verkon tähtipisteen ja maan välillä (Areva 2010).

## 8 OPINNÄYTETYÖN TOTEUTUS

### 8.1 Verkkomalli sekä moottorilähtökeskus

Opinnäytetyössä tehtävänä oli suunnitella sekä toteuttaa uusi laboratoriotyö. Laboratoriotyötä käytetään tulevaisuudessa opetustarkoituksessa. Sähkönjakelulaboratorion alakerrassa on simulaattorihuoneeksi kutsuttu tila, johon opinnäytetyönä tehtävä teollisuuden sähkönjakelua mallintava järjestelmä sijoitetaan.

Sähkönjakelulaboratorioon on aikaisemmin hankittu ABB:n valmistama moottorilähtökeskus, ja toteutettava laboratoriotyö tulee olemaan tämän moottorilähtökeskuksen käyttäminen. Tällä keskuksella voidaan mallintaa teollisuuden jännitteenjakelua pienjännitteellä. Opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella ja toteuttaa moottorilähtökeskuksen käyttöönotto.

Työtä varten Savonia-ammattikorkeakoululle oli hankittu Dyn 11-kytkentäinen 400 / 42 V -muuntaja. Tarkoituksena oli suunnitella kytkentä, jolla jännitesyöttö moottorilähtökeskukseen järjestetään tämän välimuuntajan läpi. Tällöin moottorilähtökeskuksen käyttöjännitteenä tulee olemaan 42 V.

Lisäksi täytyi suunnitella sekä toteuttaa Verkkomalli-nimisen laboratoriotyön jännitesyötön uudelleen järjestäminen, niin että jännitesyöttökytkentää saadaan yksinkertaistettua ja siirrettyä kaikki työhön läheisesti liittyvät kytkennät sekä kaapeloinnit samaan tilaan laboratoriotyön kanssa. Ennen työn aloittamista oli mitattava simulaattorihuonetta syöttävän verkon oikosulkuvirta. Todellinen oikosulkuvirta on arvioitu hiukan suuremmaksi kuin mittaamalla saatu arvo, koska mittauspisteen ja sähköpääkeskuksen välissä olleen suuren kaapelimäärän vuoksi oikosulkuvirrat pyrkivät hieman pienenemään todellisesta arvosta.

Tulevaisuudessa simulaattorihuoneessa pystytään tekemään kaksi erilaista laboratoriotyötä, joista toinen mallintaa keskijännitejakelua haja-asutusalueella ja toinen työ keskittyy teollisuuden sähkönjakeluun. Koska molempiin laboratoriotöihin käytetään osittain samoja johdotuksia sekä komponentteja, kuten ABB:n SF<sub>6</sub> -katkaisija on yhteinen, joten molempia laboratoriotöitä ole mahdollista suorittaa samanaikaisesti.

## 8.2 Työn suoritus

Työn rakentaminen aloitettiin purkamalla vanha asennus. Simulaattorihuoneessa sijaitsee verkkomallin sekä moottorikeskuksen lisäksi sijaitsee pienoisoimalaitos. Voimalaitoksen käytössä on ollut Urho Tuominen Oy:n valmistama kotelokeskustyyppinen sähköpääkeskus JKL01. Tämä voimalaitossimulaattori ei ole tällä hetkellä käytössä ja tarkoituksena oli purkaa sähköpääkeskuksesta JKL01 siihen asennetut voimalaitoksen komponentit sekä johdotukset sekä varustaa keskus uusilla ja osin siirretyillä komponenteilla. Nämä uudet asennukset sijoitetaan keskuksen vasemmassa reunassa oleviin koteloihin.

Opinnäytetyön suunnittelussa ja toteutuksessa täytyi ottaa huomioon Savonia-ammattikorkeakoulun tekniikan yksikön mahdollinen muutto Opistotien toimipisteestä Technopoliksen tiloihin. Tästä syystä toteutuksesta oli tehtävä helposti siirrettävä, jotta se on mahdollista siirtää uusiin tiloihin.



KUVA 25. Sähköpääkeskus JKL01, josta vanhat asennukset puretaan ja rakennetaan uudet johtolähdöt sekä verkkomallille että moottorikeskukselle.

### 8.3 Vanha verkkomalli

Sähkölaboratorion verkkomalli on rakennettu kuvaamaan sähköaseman kennoa ja siihen kytkeytyvää keskijännitteistä johtolähtöä. Johtolähdön komponenttiarvot on valittu kuvaamaan avojohtoa. Laboratorion verkkomallin jännite on 400 V ja jännite verkkomalliin on johdettu suojaerotusmuuntajan välityksellä. Kokonaisuus on liitetty ABB:n Scada-automaatiojärjestelmään, jonka päätteiltä on luettavissa verkkomallista saatavat tiedot, kuten jännitteet, virrat sekä tapahtuma-ajankohdat.

Verkkomalli koostuu sähköaseman välijännitekennosta, jossa on SF<sub>6</sub>-katkaisija, vau-  
nuerotin, maadoituserotin, virtamuuntajat ja johtosuoja (rele eli kennotermiinaali), se-  
kä kennoon kytketystä johtolähtömallista. Lähdön solmupisteisiin on keskitetysti kyt-  
ketty joka vaiheen ja maan väliin kondensaattorit, jotka kuvaavat johdon maaka-  
pasitanssia. Solmupisteiden väliin on kytketty resistanssit ja induktanssit, jotka ku-  
vaavat johtoa sähköisesti. Solmupisteistä voidaan mitata virrat sekä jännitteet.

Johtolähdön solmupisteisiin voidaan keinotekoisesti tehdä erilaisia vikoja. Kytkimillä ohjataan vikapaikka, vian tyyppi ja vian varsinainen toteutus.



KUVA 26. Verkkomalli, SF<sub>6</sub>-katkaisija, vau-  
nuerotin ja kennotermiinaali

#### 8.4 ABB-MLK-moottorilähtökeskus

Sähkönjakelulaboratoriossa on aiemmin hankittu ABB:n valmistama keskus, jonka kokoonpano on tyypillinen teollisuusprosessien sähkönjakeluun liittyvä moottorikeskus. Keskuksen kalustuksena on syöttökenttään sijoitettuna ilmakatkaisija ja ylivirta- sekä valokaarireleistö. Keskuksen toisessa päädyssä sijaitsee käyttölaitteita varten apujännitekisko.

#### 8.5 Suoritetut muutostyöt

Työn aikana ja sen edetessä muutoksia tehtiin keskuksien, johtoreittien ja verkkomallin asennuksiin sekä kojeiden sijoitteluun. Muun muassa verkkomalli tarvitsee suojaerotusmuuntajan, joka aikaisemmin on sijainnut pääkeskushuoneessa seinän takana. Suojaerotusmuuntaja on siirretty simulaattorihuoneeseen muiden kiinteiden laitteiden kanssa, koska työn kokonaisuuden kannalta on järkevää, että kaikki tarvittavat laitteet sijaitsevat samassa huonetilassa ja ovat myös näkyvillä.

Pääkeskus NKL01, joka syöttää keskusta JKL01, sijaitsee simulaattorihuoneen vierisessä pääkeskushuoneessa. Pääkeskushuoneeseen jätettiin ainoastaan työssä käytettävän pääkeskuksen JKL01:sen syöttökaapeli sekä Hätä – Seis-painikkeiden ohjaus, koska Hätä – Seis-painikkeet katkaisevat sähkönsyötön kokonaan keskuksen JKL01. Toisin sanoen Hätä – Seis-painikkeen ohjauksella koko simulaattorihuone saadaan erotettua sähköverkosta.



KUVA 27. Suojaerotusmuuntaja siirrettynä keskuksen JKL01 viereen simulaattori-huoneeseen.

#### 8.5.1 Muutostyöt sähköpääkeskuksissa

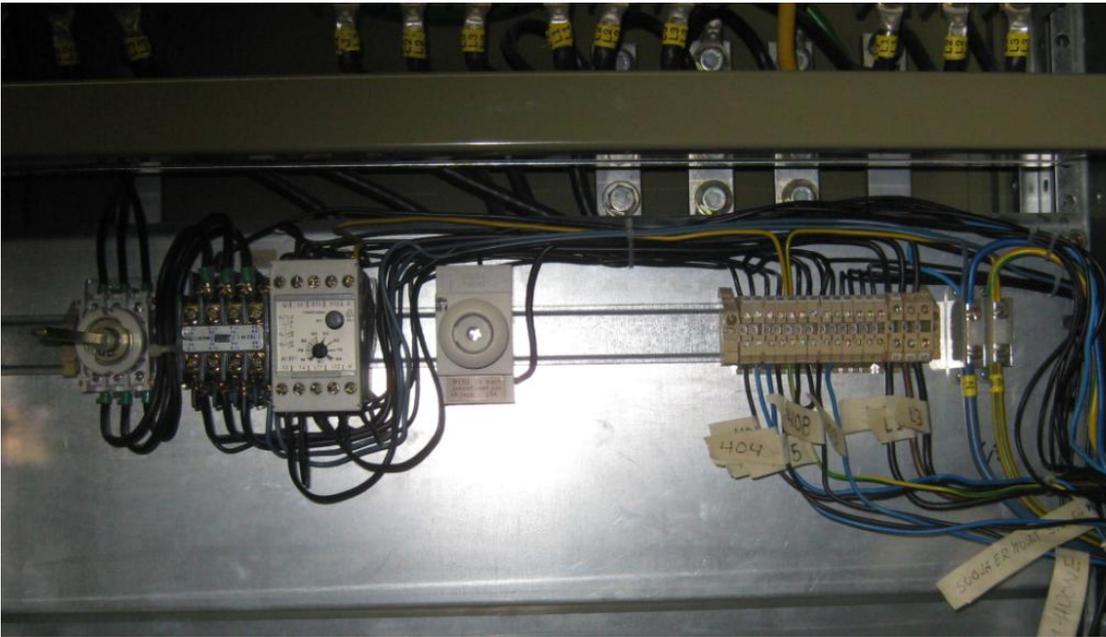
Kuten aikaisemmin jo todettiin, sähkökeskuksiin tehtiin muutoksia ja muutokset aloitettiin purettavaksi suunnitellusta keskuksista JKL01. Vanhojen voimalaitokseen liittyvien sähköasennusten pois purkamisen jälkeen voitiin aloittaa uuden asennuksen rakentaminen. Ensimmäisenä asennettiin JKL01-keskukseen laboratoriotöiden pääkytkimeksi kytkinvaroke (OS-125, nimellisvirta 125 A), joka otettiin irti moottorilähtökeskuksesta, koska tätä kytkinvaroketta ei kyseisessä keskuksessa tarvittu. Jonkin verran ongelmia tuotti osien yhteensopivuus, koska ABB:n valmistama kytkinvaroke ei sellaisenaan olisi sopinut Urho Tuomisen valmistamaan keskukseseen. Kytkinvarokkeelle jouduttiin valmistamaan itse erikseen pellistä uusi pohjalevy, johon kytkinvaroke voitiin kiinnittää tukevasti.

Sähkökeskusasennuksissa, kuten muissakin opinnäytetyöhön liittyvissä asennuksissa on käytetty erittäin paljon kierrätysmateriaalia eli sellaista materiaalia, joka on purettu pois vanhasta asennuksesta. Verkkomallin pääkytkin sekä suojaerotusmuuntajan erotuskytkin ovat purettuja komponentteja vanhasta voimalaitoksesta. Erotuskytkimellä saadaan estettyä jännitteen syöttö suojaerotusmuuntajan toisioon, sekä verkkomallin taustaverkkoon. Erotuskytkentä on tarpeen silloin kun suoritettavana laboratoriotyönä on moottorilähtökeskus.

Koska työssä oli vaatimuksena, että verkkomalliin kiinteästi yhdistettyä katkaisijaa käytetään molemmissa laboratoriotöissä, ei töitä näin ollen voida käyttää samanaikaisesti, KytKentä päätettiin toteuttaa käyttämällä kahta samanlaista ABB:n valmistamaa (OT125F3C) vaihtokytkintä. Vaihtokytkimet toimivat työnvalintakytkiminä ja niillä voidaan valita suoritettava laboratoriotyö. Vaihtokytkimet ovat toiminnaltaan tyyppiä 1 - 0 - 2, se tarkoittaa, että lähdöistä vain toinen voi olla kerrallaan jännitteellinen ja silloin toisen lähdön koskettimet ovat aina auki asennossa.



KUVA 28. Vaihtokytkimelle 1. tuleva jännitesyöttö (yläpuoliset johtimet) sekä johtolähdöt vaihtokytkimestä verkkomalliin sekä moottorilähtökeskukseen.



KUVA 29. Verkkomalliin liittyvät pääkytkin, syöttö kontaktori sekä maasulkurele ja riviliitinrima sijaitsevat vielä vanhassa sähköpääkeskuksessa NKL01. (Pääsulakkeet eivät näy kuvassa).



KUVA 30. Verkkomalliin liittyvät pääsulakkeiden pohjat, pääkytkin, syöttö kontaktori sekä maasulkurele ja riviliittimet uudelleen asennettuina työssä käytettävään sähköpääkeskukseen JKL01.

### 8.5.2 Muutostyöt johtoreiteissä

Johtoreittien muutokset täytyi suunnitella hyvin tarkasti, koska suuresta osasta johdotuksia ei ole olemassa mitään sähköpiirustuksia. Muutettavat johtoreititykset sekä vaihdettavat johdot täytyi käydä läpi yksitellen ja merkitä niistä jokainen hyvin, jotta tiedetään asentaa johdot oikein myös uusitussa asennuksessa.

Johtoreittien muutokset oli tämän jälkeen helppo suorittaa, koska sähkönjakelulaboratorion alakerran lattioihin on jo rakennusaikana jätetty valmiiksi hyvät tilat mahdollisille myöhemmin asennettaville lisäkaapeloinneille. Kaikki tarvittavat kaapelit asennettiin piiloon lattian sisään kaapelikuiluihin. Kaapelien asennustyössä selvittiin muutamien lattialuukkujen avaamisella sekä luukun kansien rei'ittämisellä kaapelien läpivientien vuoksi.

Pinta-asennuksia työn suorittamisessa yritettiin välttää mahdollisimman paljon. Hyvällä johtoreittien suunnittelulla päästiinkin siihen tulokseen, eikä yhtään kaapelia tarvinnut asentaa pinta-asennuksena. Vasta uudessa moottorilähtökeskuksen kaapeloinnissa on käytetty pinta-asennusta, mutta tämä on tehty aivan tarkoituksellisesti. Pintaan asennetut kaapeloinnit ovat siinä asennettu siististi kaapelihyllyä käyttäen.



KUVA 31. Huoneen lattialuukkuja on avattu kaapelien asennusta varten.

### 8.5.3 Muutostyöt verkkomallissa sekä sen kytkennässä

Verkkomallin sisäisiä kytkentöjä ei ollut tarpeen muuttaa millään tavalla. Kytkentämuutoksia suoritettiin kuitenkin verkkomallin kaapeloinnissa sekä asentamalla kaksi kappaletta uusia kytkentärasioita, joihin uudet sekä vanhat asennukset saatiin paremmin mahtumaan.

Uusi tuleva laboratoriotyö on käytettäviltä virta-arvoiltaan suurempi, kuin vanha verkkomalli. Verkkomallin kaapelointia täytyi muuttaa niiltä osin, missä laboratoriotyöt tulevat käyttämään samaa johtoreittiä.

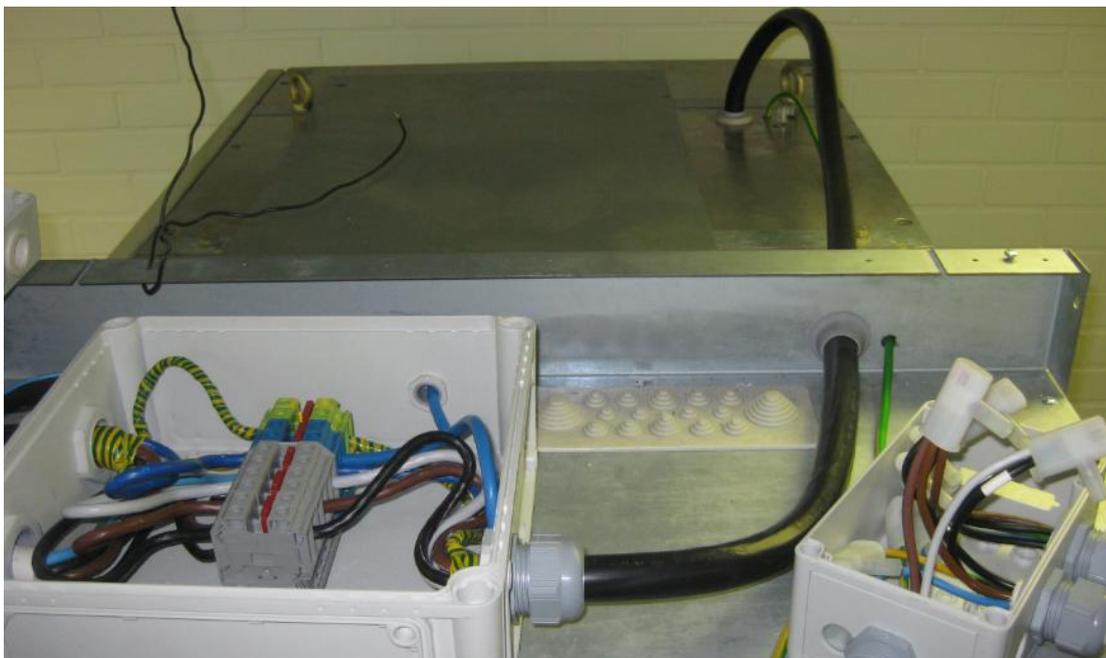
Koska kyseessä oli kuitenkin melko pienet asennustilat sekä käytettävä asennuskaapeli oli suhteellisen järeää (MCMK 4\*16 + 16) tämänkaltaiseen asennukseen. Kaapelin taivutussäde asetti jonkin verran mietittävää muun muassa tulevien kytkentärasioiden sijoittelulle sekä verkkomallin kylkeen tehtäville läpivientireikien paikoille.

Verkkomallin oven takaiselle kaapeloinnille sekä muille asennuksille varattuun asennustilaan asennettiin verkkomallin oma syöttökaapeli. Lisäksi samaan tilaan vedettiin myös moottorilähtökeskuksen syöttökaapeli, joka on kytketty samaan jakorasiaan verkkomallin syötön kanssa. Verkkomallin syöttökaapeliin lisättiin väliin kytkin, joka toimii verkkomallin toisena pääkytkimenä sekä erotuskytkimenä silloin, kun suoritettavana laboratoriotyönä on ABB MLK -keskus. Tämän väliskytkimen asennus oli tarpeen siksi, että sillä saadaan estettyä jännitteen syöttö takaisin suojaerotusmuuntajalle sekä verkkomallin taustaverkolle sekä verkkomallissa vikatilanteita simuloivalle kontaktorille silloin, kun suoritettavana laboratoriotyönä on ABB MLK -keskus. Ilman tätä kytkintä kuormitettaisiin turhaan suojaerotusmuuntajan toisiokäämitystä sekä taustaverkkoa ja vikatilanteita simuloivaa kontaktoria.

Samaan asennustilaan asennettiin lisäksi työssä käytettävä toinen vaihtokytkin, josta suoritettava laboratoriotyö valitaan. Koska työssä käytetään vaihtokytkentää sekä kahta erillistä jännitesyöttöä, joista kuitenkin vain toinen voi olla kerrallaan jännitteinen. On myös mahdollista, että jännite voidaan ohjata tulemaan verkkomalliin väärää reittiä. Vaihtokytkimissä on ilmoitettu jännitteen oikean syöttösuunnan valinta, mutta inhimillisen erehtymisen mahdollisuus on aina olemassa. Tästä syystä verkkomalliin onkin asennettu lisäsuojaksi 3 \* 16 A automaattisulakkeet. Nämä sulakkeet toimivat vikatilanteessa jos jännite syötetään väärää reittiä. Lisäksi verkkomalli on maadoitettu liittämällä maadoitusjohdin (Cu 16) pääpotentialintasauskiskoon, tämä maadoitus puuttui vanhasta järjestelmästä.



KUVA 32. Lisäkaapelointia verkkomallin oven takaisessa kaapelikuilussa. Oveen asennetut kytkimet: vaihtokytkin 2, josta valitaan suoritettava laboratoriotyö. Pienempi kytkin toimii sekä verkkomallin toisena pääkytkimenä, että erotuskytkimenä silloin, kun täytyy estää jännitteen takaisinsyöttö suojaerotusmuuntajan toisiokäämityksiin. Lisäksi kuvassa on toinen verkkomallin katolle asennetuista uusista kytkentärasioista ja verkkomallin lisäsuojina toimivat sulakkeet.



KUVA 33. Verkkomallin katolle asennetut uudet jakorasiat. Suuremmasta rasiasta erottimelle menevä kaapeli on vaihdettu järeämpään MCMK 4 \* 16 + 16 -kaapeliin. Pienempään rasiaan on uudelleenkytketty verkkomallin sisäisiä kytkentöjä, taustaverkko ja vikatilanteita simuloiva kontaktori.

#### 8.5.4 Moottorilähtökeskuksen vaatimat asennustyöt

Moottorilähtökeskusta syötetään välimuuntajan kautta. Välimuuntajan jännitteet ovat ensiöjännite 400 V sekä toisiojännite 42 V. Tämän 400/42 V muuntajan tarkoituksena on mallintaa teollisuuden sähkönjakelua, siten että muuntajan 400 V:n puoli mallintaa ikään kuin teollisuuslaitoksen 6 kV tai 10 kV:n välijännitejakeluporrasta ja toisipuolen 42 V mallintaa moottorilähtökeskuksen 690 V:n jännitettä. Jännitteensyöttö moottorilähtökeskukseen on viety välimuuntajan läpi keskuksen virtakiskoihin ja ennen virtakiskoja vaihejohtimet on pyöräytetty virtamuuntajien lävitse. Virtamuuntajan tarkoituksena on erottaa mittausvirtapiiri galvaanisesti päävirtapiiristä ja suojata mittauspiiriä ylikuormitukselta. Circuror -merkkiset virtamuuntajat on hankittu sähkö- ja elektroniikkaliike Instele Oy:ltä. Näiden virtamuuntajien alkuperäinen muuntosuhde on 100/5 A. Muuntosuhdetta on muutettu viemällä vaihejohtimet kaksi kertaa virtamuuntajan lävitse, jolloin uudeksi muuntosuhteeksi on saatu 50/5.

Moottorilähtökeskuksen syöttökaapeli on kuljetettu lattiassa olevassa kaapelitilassa ja nostettu sieltä ylös jakorasialle, josta kaapeli on haaroitettu välimuuntajalle sekä apujännitekiskon pääkytkimenä toimivalle kytkinvarokkeelle. Tämän jälkeen apujännitteen kaapelointi jatkuu keskuksen sisäisenä asennuksena apujännitekiskostolle. Ja-

korasialta lähtevät kaapelit on asennettu pinta-asennuksena kaapelihyllylle, joka on kiinnitetty huonetilan seinään sekä lattiaan. Kaapelihyllyyn kaapelit on kiinnitetty kaarikiinnikkeillä sekä nippusiteillä.



KUVA 34. ABB-MLK Moottorilähtökeskus.



KUVA 35. Välimuuntaja, kaapelihylly, jakorasia sekä moottorilähtökeskuksen kaapelointi.

## 9 JOHTOPÄÄTÖKSET

Moottorilähtökeskuksella on tarkoitus mallintaa teollisuuden sähköjakelua. Keskus soveltuu hyvin siihen tarkoitukseen. Tärkeä asia tässä on juuri jännitetaso vaihtuminen, koska keskuksen jännitteenä käytettävä 42 V mallintaa teollisuuslaitoksen pienjännitejakelua. Työ onnistui mielestäni hyvin, vaikka aivan tavoitteeseen asti ei päästyäkään. Tavoitteena työssä oli saada järjestelmä täysin toimivaksi, mutta tämä ei ollut mahdollista, koska releen asetteluarvot eivät sellaisenaan olleet yhteensopivia molemmille laboratoriotöille ja koska moottorilähtökeskuksen pääkytkimenä käytettävän ilmakatkaisijan toimivuudesta ei ollut täyttä varmuutta. Ilmakatkaisijan toiminnan toteaminen sekä releen oikeiden asetteluarvojen löytäminen päätettiin jättää myöhemmin suoritettavaksi projektiluontoiseksi työksi. Muilta osin järjestelmä toimi juuri niin kuin se oli suunniteltukin.

## LÄHTEET

ABB. 2011. *MDY-kiskosilta järjestelmä*. [verkkojulkaisu]. [viitattu 20.4.2011]. Saatavissa:

<http://www.abb.com/product/seitp329/d71e9d8117f67a51c1256ffe004bd1ec.aspx?tabKey=7>

ABB. 2009. *Kahvasulakkeet*. [verkkojulkaisu]. [viitattu 22.4.2011]. Saatavissa:

[http://www05.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/30e8c69535adcee1c12575a5001528d1/\\$file/1scc317002c1801.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/30e8c69535adcee1c12575a5001528d1/$file/1scc317002c1801.pdf)

ABB. 2007. *Valokaarirele*. [verkkojulkaisu]. [viitattu 29.9.11]. Saatavissa:

[http://www05.abb.com/global/scot/scot229.nsf/veritydisplay/12b459b831ef4c32c12572fe0030c7c3/\\$file/rea101\\_oper\\_750928\\_fie.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot229.nsf/veritydisplay/12b459b831ef4c32c12572fe0030c7c3/$file/rea101_oper_750928_fie.pdf)

ABB. 2000. *Teknisiä tietoja ja taulukoita*. Vaasa.

Areva, N. 2010. *Maasulkuvian paikannus kompensoidussa keskijänniteverkossa*.

Metropolia-ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. [viitattu 10.5.2011]. Saatavissa:

<https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/14619/Maasulkuvian%20paikannus%20kompensoidussa%20keskijänniteverkossa.pdf?sequence=1>

Etto, J. 1998. Prosessisähköistyksen kunnossapito. *Kunnossapito -lehden erikoisliite 7/98*. [verkkojulkaisu]. [viitattu 15.3.2011]. Saatavissa:

[www.promaint.net/downloader.asp?id=73&type=1](http://www.promaint.net/downloader.asp?id=73&type=1)

Huurinainen, V. 2006. *Jakelumuuntajan elinkaaritutkimus*. Tampereen AMK. Opinnäytetyö. [viitattu 11.4.2011]. Saatavissa:

<https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/9883/TMP.objres.853.pdf?sequence=2>

Jantunen, M. 2004. *Sellutehtaan varavoimajärjestelmän mitoitus ja teknistaloudellinen vertailu 400 ja 690 voltin jännitteillä*. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Diplomityö. [viitattu 15.4.2011]. Saatavissa:

<http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/34620/nbnfi-fe20041326.pdf?sequence=1>

Korpinen, L. 1998. *Sähkövoimatekniikkaopus*. [verkkodokumentti]. [viitattu 10.4.2011]. Saatavissa:

[http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt\\_opus/9muuntajat\\_ja\\_sahkolaitteet.pdf](http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt_opus/9muuntajat_ja_sahkolaitteet.pdf)

Mäkinen, M., Kallio, R. 2006. *Teollisuuden sähköasennukset*. Keuruu. Otava.

Prysmian Group. 2011. *Voimakaapelit*. [verkkójulkaisu]. [viitattu 22.4.2011]. Saatavissa: <http://www.prysmian.fi/energy/products/powercable.html>

Rissanen, R. 2010. *Teollisuuden sähköasennukset ja verkot*. Savonia-ammattikorkeakoulu. Kuopio. Luentomateriaali.

Rouhiainen, J. 2008. *Maasulkuvirtojen kehitys ja kompensointi Haminan energia oy:n keskijänniteverkossa*. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Diplomityö. [viitattu 10.5.2011]. Saatavissa: <http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/42480/nbnfi-fe200810152007.pdf?sequence=3>

Rouvali, J. 2010. *Energiatekniikan ja sähkökäyttötekniikan perusteet*. Savonia-ammattikorkeakoulu. Kuopio. Luentomonisteet.

Rytkönen, P. 2009. *Teollisuuden sähköasennukset ja verkot*. Luentomateriaali. [Verkkodokumentti]. [viitattu 20.3.2011]. Saatavissa: <http://momenthits.fi/ESV5230/>

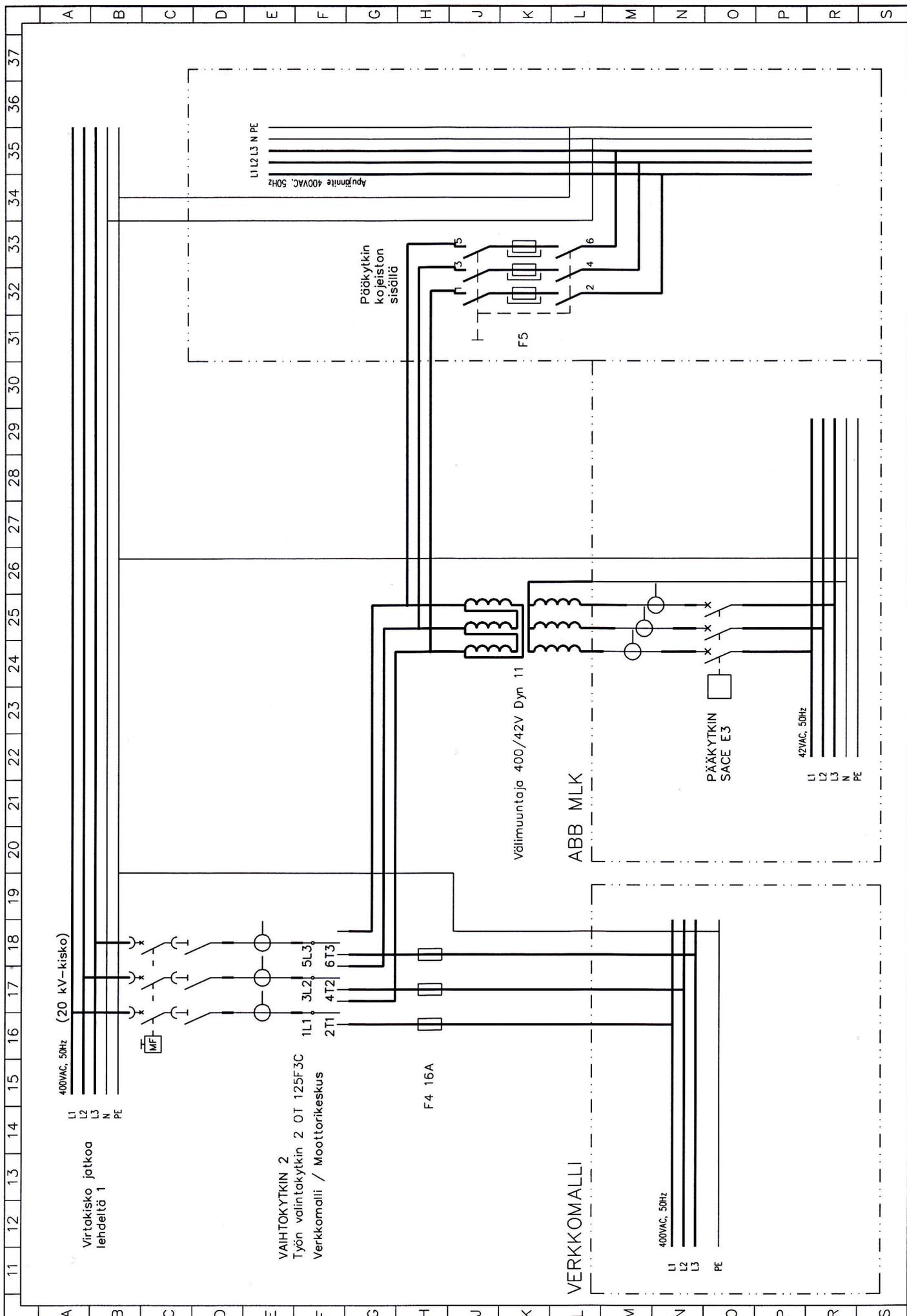
Suomen sähkö- ja teleurakoitsijaliitto. 2009. *D1-2009 käsikirja rakennusten sähköasennuksista*. Helsinki. Painokurki Oy.

Suomen sähkö- ja teleurakoitsijaliitto ry. 2004. Julkaisu. *Sähköasennustekniikka 3/2004*.

Sähkötarkastuskeskus. 1995. *D1-1995 käsikirja rakennusten sähköasennuksista*. Jyväskylä. Gummerus.

VTT. 2004. *Energia suomessa*. Helsinki. Oy Edita Ab.





A	D muutos
B	E muutos
C	F muutos

A muutos		C muutos	
B muutos		Sähkölaboratorio (20 kV -kisko) Verkkomalli ja moottorikeskus	
Suunn. H. L. / 8.4.2011	Kokonaisuus LIITE 1	Sähköpositio	Työnumero
Piirt. H. Lyytikäinen	Lehti 2 / 2	Piirustusnumero	
Tark.			<b>SÄH</b>