

Kimmo Ristolainen

# Jätekeskuksen sähköverkon kartoitus ja valaistusohjauksen suunnittelu

Opinnäytetyö  
Sähkötekniikan koulutusohjelma

Joulukuu 2015




MAMK

University of Applied Sciences

## KUVAILULEHTI

	<b>Opinnäytetyön päivämäärä</b>  8.12.2015
<b>Tekijä(t)</b> Kimmo Ristolainen	<b>Koulutusohjelma ja suuntautuminen</b> <b>Sähkötekniikan koulutusohjelma</b> Sähkötekniikka
<b>Nimeke</b>  Jätekeskuksen sähköverkon kartoitus ja valaistusohjauksen suunnittelu	
<b>Tiivistelmä</b>  Opinnäytetyön tilaaja on ESE-tekniikka Oy. Ese-tekniikka on Mikkelin kaupungin omistaman Etelä-Savon Energia Oy:n tytäryhtiö, jonka pääasialliset tehtävät ovat Etelä-Savon Energia Oy:n omistaman sähkönjakeluverkon sekä katu- ja liikennevaloverkon rakennus ja ylläpito. Ese-Tekniikka suorittaa myös muita sähköalan asennus- ja huoltotöitä, kuten tässä työssä kohteena olevan jätekeskuksen sähkölaitteiden asennukset ja huollot.  Opinnäytetyön tavoitteena oli luoda dokumentaatio mainitun jätekeskuksen sähköverkosta yleisen rakenteen sekä suojausten toimivuuden näkökulmista, suunnitella uusi valaistusohjausjärjestelmä sekä analysoida sähkön laatua alueella.  Aiemmin sähköverkosta ei ole ollut yhtenäistä dokumentaatiota, joten vikatilanteissa vian selvittäminen sekä uusien asennusten suunnittelu on tuottanut suuren määrän ylimääräistä työtä. Alueen katu- ja aluevalaistuksessa ei ole ollut yhtenäistä ohjausjärjestelmää, vaan paljon yksittäisiä aikareleitä ja hämäräkytkimiä. Näiden tilalle haluttiin yhtenäinen, huolto- ja käyttäjäystävällinen ohjausjärjestelmä, joka työssä suunniteltiin. Sähkön laadun mittauksilla haluttiin etsiä mahdollisia jatkotoimenpiteitä vaativia kohteita.  Työn tuloksena syntyi pääkaavio alueen sähköverkosta, lista suoritettaviksi suositelluista jatkotoimenpiteistä sekä suunnitelma valaistusohjausjärjestelmästä. Työn tuloksena luotu dokumentaatio luovutetaan tilaajalle, joka yhdessä kohteen omistajan kanssa huolehtii niiden toteuttamisesta.	
<b>Asiasanat (avainsanat)</b> kartoitus, valaistusohjaus, sähkön laatu	
<b>Sivumäärä</b> 22+11	<b>Kieli</b> Suomi
<b>Huomautus (huomautukset liitteistä)</b>	
<b>Ohjaavan opettajan nimi</b> Jorma Pekkanen	<b>Opinnäytetyön toimeksiantaja</b> Ese-Tekniikka Oy

## DESCRIPTION

	<b>Date of the bachelor's thesis</b> 8.12.2015
<b>Author(s)</b> Kimmo Ristolainen	<b>Degree programme and option</b> Electrical engineering
<b>Name of the bachelor's thesis</b> Mapping of electrical network and designing of lightning control system in a waste centre	
<b>Abstract</b> <p>Thesis was commissioned by ESE-Tekniikka Oy, which is a subsidiary to Etelä-Savon Energia Oy, an energy company owned by the city of Mikkeli, Finland. The main tasks of ESE-Tekniikka include building and maintenance of Etelä-Savon Energia's electrical distribution network, street lights and traffic lights. ESE-Tekniikka also does electric work to other customers, such as the waste centre included in the thesis.</p> <p>The purpose of the thesis was to create documentation of the electrical distribution network of the waste centre, design a new lightning control system for the area and analyse the quality of electricity in the area.</p> <p>There was no proper documentation of the electrical distribution network, which would help in error situations and further design of new electrical installations. There also was no coherent control system for the street lights of the area, so a more coherent, user- and service-friendly system was designed. As for the electricity analysis, the purpose was to look for parts of the electrical system needing further investigation or operations.</p> <p>New main diagram of the electrical distribution network, a list of recommended operations and designs of a new lightning control system were created as result of the thesis. In order to carry out the recommended operations, the created documentation will be handed over to the commissioner.</p>	
<b>Subject headings, (keywords)</b> mapping, lightning control, quality of energy	
<b>Pages</b> 22+11	<b>Language</b> Finnish
<b>Remarks, notes on appendices</b>	
<b>Tutor</b> Jorma Pekkanen	<b>Bachelor's thesis assigned by</b> ESE-Tekniikka Oy

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	1
2	ESE-TEKNIikka OY .....	1
3	METSÄ-SAIRILAN JÄTEKESKUS .....	2
4	TEORIAA .....	2
4.1	Ylikuormitussuojaus .....	2
4.2	Oikosulkusuojaus.....	2
4.3	Suojauksen selektiivisyys .....	3
4.4	Johtimien kuormitettavuus.....	3
4.5	Sähkön laatu.....	4
4.5.1	Jännite .....	4
4.5.2	Virta ja kuormituksen jakautuminen.....	4
4.5.3	Tehot .....	5
4.5.4	Yliaallot ja särö .....	5
5	JÄTEKESKUKSEN SÄHKÖVERKKO .....	7
5.1	Sähköverkon kartoitus .....	7
5.2	Sähköverkon suojauksen tarkastelu.....	9
5.2.1	Ylikuormitussuojaus .....	9
5.2.2	Muuntajan oikosulkuvirta .....	10
5.2.3	Sähköverkon osien oikosulkuvirrat.....	11
5.2.4	Suojauksen selektiivisyyden tarkastelu.....	12
5.3	Suosittelut toimenpiteet .....	13
6	SÄHKÖN LAADUN ANALYSOINTI .....	14
6.1	MS-JK02.....	15
6.2	MS-JK01 8F.....	16
6.3	MS-JK05.....	17
6.4	MS-JK03.....	17
7	VALAISTUSOHJAUS .....	18
7.1	Valaistusohjauksen kartoitus .....	19
7.2	Uuden valaistusohjauksen suunnittelu.....	19
8	POHDINTAA .....	20
	LÄHTEET .....	22

## LIITE

### 1 Jätekeskuksen sähköverkon oikosulkuvirrat

## **1 JOHDANTO**

Opinnäytetyössä tullaan kartoittamaan Metsäsairila Oy:n omistaman Metsä-Sairilan jätekeskuksen sähköverkon rakenne, suorittamaan mittauksia sähkön kulutuksesta ja laadusta sekä suunnittelemaan alueelle uusi valaistusohjausjärjestelmä. Työn toimeksiantaja on ESE-tekniikka Oy, joka on rakentanut ja huoltaa alueen sähkö- ja valaistuslaitteita.

Kartoituksessa luodaan alueen sähköverkosta kaavio, josta selviää kaapelityypit ja -pituuudet, nimetään ja merkitään verkon sisältämät keskukset ja kaapelit, kiinnitetään huomiota sähköturvallisuuteen sekä tehdään sähkötekkinen tarkastelu. Kartoituksen perusteella laadittiin lista suositeltavista toimenpiteistä puutteiden korjaamiseksi.

Sähkön laadun analysoinnissa mitataan sähkön kulutusta muutamista pisteistä ja analysoidaan mittaustuloksia, sekä tehdään lista suositeltavista toimenpiteistä mahdollisten ongelmakohtien korjaamiseksi.

Valaistusohjauksen suunnittelussa luodaan alueen katu- ja aluevalaistukselle yhtenäinen ohjausjärjestelmä käyttäjien toiveiden ja tarpeiden perusteella. Uudella ohjausjärjestelmällä tavoitellaan valaistuksen tarkoituksenmukaista ja varmaa toimintaa sekä energian säästöä.

## **2 ESE-TEKNIikka OY**

Ese-tekniikka Oy on Mikkelin kaupungin omistaman Etelä-Savon Energia Oy:n tytäryhtiö, joka suorittaa huolto- ja asennustoimintaa. Ese-tekniikka rakentaa ja huoltaa Etelä-Savon Energian pien- ja keskijännitejakeluverkot, kuluttajaliittymät sekä katu-, alue- ja liikuntapaikkavalaistukset sekä suorittaa asennus- ja huoltotehtäviä kuluttaja- ja yritysasiakkaille. [1.]

### 3 METSÄ-SAIRILAN JÄTEKESKUS

Metsä-Sairilan jätekeskus on toiminut nykyisellä paikallaan 1970-luvulta, ja on kehittynyt vuosien saatossa jätteiden kaatopaikasta monipuoliseksi jätteenkäsittelykeskukseksi. Keskuksessa vastaanotetaan Mikkelin alueella syntyvää jätettä sekä lajiteltuna että lajittelemattomana, lajitellaan ja lähetetään lajiteltua jätettä eteenpäin hyödynnettäväksi sekä tuotetaan sähköä jätepenkasta syntyvistä kaasuista turbiinilaitoksessa ja multaa biojätteestä kompostointilaitoksessa. [2, s. 15.]

### 4 TEORIAA

Tässä osiossa avataan lukijalle työssä käytettäviä käsitteitä sekä selvitetään työn selvittämisen kannalta tarpeellista teoriaa ja säädöksiä.

#### 4.1 Ylikuormitussuojaus

Ylikuormitussuojauksella suojellaan sähköisessä piirissä olevia johtimia ylisuuren virran aiheuttamalta lämpenemiseltä. Tämän työn kohteessa ylikuormitussuojaus on toteutettu gG-tyyppisillä sulakkeilla, jotka toimivat samalla oikosulkusuojina. Muita ylikuormitussuojia ovat mm. moottorikäyttöihin tarkoitettut pehmokäynnistimet ja lämpöreleet.

Rinnan kytkettyjen johtimien ylikuormitussuojaus on toteutettava siten, että käytettäessä samaa ylikuormitussuojausta useammalle keskenään yhtä pitkälle, keskenään samantyyppiselle johtimille, joiden tasainen kuormitus on varmistettu, suojalaitteen mitoitusvirta on pienempi kuin johtimien yhteenlaskettu kuormitettavuus. Mikäli johtimet eivät ole keskenään samanlaisia, tai kuormitus on epätasainen, suojaukseen on kiinnitettävä huomiota paljon enemmän. Tällöin kunkin johtimen ylikuormitussuojauksen vaatimukset on käsiteltävä erikseen. [3, s. 130-136]

#### 4.2 Oikosulkusuojaus

Sähköverkon kaikki osat on suojattava oikosulkujen varalta esimerkiksi sulakkein tai johdonsuoja-automaatein. Oikosulun sattuessa laitteen tai johtimen vaurioituessa vika-kohteen sähkönsyötön on katkettava määrätyssä ajassa. Oikosulkusuojauksen tyyppin

määrittämiseksi on tiedettävä pienin oikosulkuvirta johtimen päässä. Tämä arvo saadaan laskennallisesti ja laskennallinen arvo voidaan todentaa mittaamalla.

Samaan oikosulkusuojaukseen rinnan kytketyissä johtimissa oikosulkusuojauksen on toimittava vian sattuessa missä tahansa kohtaa suojattavaa piiriä. Toisin sanoen suojaus on valittava siten, että se toimii myös vain yksittäisen johtimen vaurioituessa. Kun rinnankytketyt johtimet on syöttöpäässä kytketty saman suojalaitteen taakse, on suojalaite valittava samalla tavoin kuin käytettäessä vain yhtä johdinta. Tässä työssä saman oikosulkusuojauksen taakse rinnankytkettyjen johtimien oikosulkuvirrat käsitellään sekä johdinkohtaisesti että ottaen huomioon molempien johtimien impedanssit. [3, s. 132-133]

Tässä työssä käytettävällä laskentatavalla saatu arvo on aina pienempi kuin mitattu arvo, johtuen laskentakaavassa käytettävästä varmuuskertoimesta sekä taulukkoarvoista (esimerkiksi johtimen impedanssi), jotka poikkeavat todellisista, valmistajan ilmoittamista arvoista siten, että lopputuloksena saatava oikosulkuvirta pienenee. Mikäli laskenta pitäisi suorittaa tarkemmin, esimerkiksi suunnittelutyöhön liittyvässä mitoitus-työssä, tulisi käyttää tarkkoja arvoja valmistajan toimittamista dokumenteista.

### **4.3 Suojauksen selektiivisyys**

Ylikuormitus- ja oikosulkusuojaus suunnitellaan siten, että vikakohdetta lähinnä oleva suojaus toimii. Tämä toteutetaan pienentämällä suojalaitteiden nimellisvirtoja sähköverkossa edetessä. Esimerkiksi tämän opinnäytetyön kohteena olevan jätekeskuksen alueen pääsulakkeiden nimellisvirta on 400A, ja pidemmällä verkossa olevat sulakkeet pienenevät asteittain. Näin ollen esimerkiksi yksittäisen katuvalaisimen tai johtimen vikaantuminen ei aiheuta oikosulkusuojauksen toimimista pääsulakkeissa, vaan vikakohdetta lähimpänä olevassa suojauksessa. Tällöin sähkön syöttö ei katkea koko alueelta.

### **4.4 Johtimien kuormitettavuus**

Johtimia valittaessa on otettava huomioon niiden syöttämän kohteen kuorman suuruus, jotteivat ne ylisuuren kuormituksen vuoksi lämpene yli niiden maksimaalisen käyttölämpötilan. Liian suuri lämpötila vanhentaa johtimien eristeitä, lyhentää niiden elinikää ja aiheuttaa pahimmillaan tulipalovaaran.



Johtimen suurin kuormitettavuus vaikuttaa suojalaitteiden valintaan. Suojalaitteet on valittava siten, että ne suojaavat johtimia ylisuuren kuormituksen aiheuttamilta vaurioilta ja vaaratilanteilta. Tässä työssä ei suunnitella uusia asennuksia, vaan tarkastellaan olemassa olevien johtimien suojauksien toimivuutta ja säännöstenmukaisuutta, joten ei ole tarpeellista tehdä tarkkaa mitoitusta, vaan käytetään yksinkertaistettuja taulukoita sekä johtimien kuormitettavuuksien että ylikuormitus- ja oikosulkusuojauksien osalta. [4, s. 216-220]

## **4.5 Sähkön laatu**

Vaihtosähkön tärkeimpiä mitattavia suureita ovat virran ja jännitteen lisäksi taajuus, näennäis-, pätö- ja loistehon määrät, kuormituksen tasainen jakautuminen sekä yliaallot. Tämän työn kohteena olevan jätokeskuksen kuormat ovat verrattain pieniä, ja ne koostuvat pääasiassa valaistuksesta ja lämmityksestä, lukuun ottamatta paperinkeräyshallia ja kompostointilaitosta, joissa on moottorikäyttöjä sekä kompensointilaitteistoja.

### **4.5.1 Jännite**

Jännitettä mitattaessa tutkitaan jännitteenalenemaa verrattuna nimellisjännitteeseen. Jännitteenalenema riippuu virran suuruudesta sekä sähköä syöttävän järjestelmän impedansseista. Mitä suurempia virta ja impedanssit ovat, sen suurempi on jännitteenalenema. Mikäli jännitteenalenema on liian suuri, saattaa sähkölaitteiden toiminta häiriintyä, esimerkiksi valot saattavat himmentyä tai välkkyä.

Jännitteenaleneman ei pitäisi olla yleisestä jakeluverkosta syöttäessä olla valaistuskäytössä yli 3% ja muussa käytössä 5% verrattuna asennusten nimellisjännitteisiin. Moottoreilla sekä muilla laitteilla, joilla on suuri käynnistysvirta, sallitaan näitä arvoja suurempi jännitteenalenema käynnistyshetkellä. [3, s. 262]

### **4.5.2 Virta ja kuormituksen jakautuminen**

Virran suuruutta tarkastellaan kaapeleiden kuormituksen arvioimiseksi. Liian suurella virralla kuormitettu johdin kuumenee käytössä, vanhentaen sen eristeitä sekä aiheuttaen mahdollisesti tulipalon vaaran. Johtimien kuormitettavuudelle on määritetty raja-arvoja

standardeissa (yleisesti päteviä arvoja) ja johdinvalmistajien omissa tuotekorteissa (tuotekohtaisia arvoja). Tässä työssä käytetään pienjännitesähköstandardeissa olevia taulukkoarvoja.

Kolmivaihejärjestelmissä kuormitus tulisi suunnitella siten, että se jakautuisi mahdollisimman tasaisesti eri vaiheiden välille. Esimerkiksi valaistus- ja lämmityskuormat tulisi jakaa tasaisesti eri vaiheille. Tällä keinoin rajoitetaan jakelujärjestelmän nollajohtimelle syntyvää kuormaa sekä vähennetään muuntajille vinokuormituksesta aiheutuvia haittoja.

### 4.5.3 Tehot

Vaihtosähkön teho muodostuu pätötehosta (P), loistehosta (Q), sekä näiden summasta kaavan 1 mukaisesti muodostuvasta näennäistehosta (S).

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (1)$$

Vaihekulma eli tehokerroin kuvaa pätötehon ja loistehon välistä suhdetta kaavan 2 mukaisesti.

$$\cos\varphi = \frac{P}{S} \quad (2)$$

Pätöteho on ns. työtä tekevää tehoa, joka muutetaan esimerkiksi liikkeeksi moottoreissa tai lämmöksi sähkölämmittimissä. Puhtaasti resistiivinen kuorma, kuten lämmitysvastus, kuluttaa vain pätötehoa, jolloin virran tehokerroin on tasan 1 ja näennäisteho yhtä suuri kuin pätöteho. [5.]

Loisteho taas on nimensä mukaisesti työtä tekemätöntä tehoa. Vaikka se ei tee työtä, se on välttämätöntä esimerkiksi moottorien magnetoinnissa (induktiivinen loisteho) ja kondensaattorien lataamisessa (kapasitiivinen loisteho). Loisteho kuormittaa syöttävää sähköverkkoa tarpeettomasti, joten suurten loistehojen kompensointi on tarpeellista. Kompensoinnilla tarkoitetaan käytettävän loistehon tuottamista lähellä kulutuskohdetta. [6, s. 9] Kahdessa tämän työn kohteessa kompensoidaan moottorien aiheuttamaa induktiivista loistehoa kompensointiparistoilla.

### 4.5.4 Yliaallot ja särö

Sähkölaitteet on suunniteltu toimimaan virheettömällä sinimuotoisella jännitteellä. Virheitä jännitekäyrään aiheuttavat yliaallot, jotka syntyvät virran tai jännitteen suhteen epälinearisissa virtapiireissä. Yliaallot leviävät sähköverkossa aiheuttaen ongelmia myös muualla kuin kohteessa, jossa ne syntyvät. [7, s.2]

Yliaallot ovat taajuudeltaan vaihtojännitteen taajuuden (50Hz) kerrannaisia. Niille on annettu järjestysnumerot taajuuden perusteella, toinen yliaalto on taajuudeltaan 100Hz, kolmas 150Hz jne. Yliaallot jaotellaan järjestyslukunsa perusteella parillisiin, kolmella jaollisiin sekä kolmella jaottomiin yliaaltoihin.

Taulukossa 1 on esitetty arvot eri yliaaltojen sallituille määrille suhteessa jakelujännitteeseen.

**TAULUKKO 1. Harmonisten yliaaltojännitteiden sallitut arvot liittämiskohdassa järjestyslukuun 25 saakka prosentteina perustajuisesta jännitteestä [8, s. 298]**

Parittomat yliaallot				Parilliset yliaallot	
Kolmella jaottomat		Kolmella jaolliset			
Järjestysluku h	Suhteellinen jännite $U_h$	Järjestysluku h	Suhteellinen jännite $U_h$	Järjestysluku h	Suhteellinen jännite $U_h$
5	6,0 %	3	5,0 %	2	2,0 %
7	5,0 %	9	1,5 %	4	1,0 %
11	3,5 %	15	0,5 %	6...24	0,5 %
13	3,0 %	21	0,5 %		
17	2,0 %				
19	1,5 %				
23	1,5 %				
25	1,5 %				

Standardin SFS-EN 50160 mukaan yliaaltojen määrän pitää viikon mittaisessa mittauksessa olla pienempi tai yhtä suuri kuin taulukossa mainittu arvo 95 %:ssa kymmenen minuutin keskimääräisistä tehollisarvoista. [3, s. 298]

Jännitteen kokonaissärö (THD) saadaan laskemalla yhteen kaikki harmoniset yliaallot järjestyslukuun 40 asti. Tämän arvon tulee olla pienempi kuin 8 %. [3, s. 298]

## 5 JÄTEKESKUKSEN SÄHKÖVERKKO

Alueen sähköverkkoa on muunneltu ja laajennettu aina tarpeen tullen, ilman tarkkaa suunnittelua, tehtyjen töiden kunnollista dokumentointia ja kohteiden asianmukaista merkintää. Tästä aiheutuu mahdollisissa vikatilanteissa ongelmia, sillä ilman kunnollista dokumentaatiota vian paikallistaminen on työlästä, mikäli vian korjaaja ei itse ole ollut tekemässä asennuksia ja muista, miten asennukset on tehty. Suunnittelun puutteesta johtuen myös sähköasennusten vaatimustenmukaisuus oli työn alkaessa kyseenalaista.

Alueella on 315kVA 20/0,4kV muuntaja, josta verkko haarautuu säteittäisesti käyttökohteisiin. Verkko muodostuu viidestä jakokaapista, neljästä katuvalaistuskeskuksesta, yhdestätoista rakennuskohtaisesta pääkeskuksesta ja yhdeksästä pistorasiakeskuksesta. Alueella on yhteensä noin 15km sähkökaapeleita ja ilmalinjoja.

Työssä sähköverkosta luodaan pääkaavio, luodaan jakokaapeista jakokaappikortit, nimetään ja merkitään jakokaapit sekä niiden lähdöt, tarkastellaan suojauksien määräystenmukaisuutta ja kollektiivisuutta, sekä tehdään suosituksia mahdollisten löydettyjen ongelmakohtien korjaamiseksi. Työmäärän rajaamiseksi rakennuskohtaisia pääkeskuksia ei dokumentoida tarkasti, vaan tarkistetaan keskuksissa olevien merkintöjen paikansäilyvyys sekä lasketaan oikosulkuvirta kussakin keskuksessa.

### 5.1 Sähköverkon kartoitus

Työ alkoi tutustumisella olemassa olevaan dokumentointiin, joka käsitti paperisen kartan alueesta sekä ESE-tekniikan käyttämään Keylight-järjestelmään karttapohjalle merkityt kaapelit, keskuksat, valaisimet ja pylväät. Keylight-järjestelmään on merkitty kaapeleiden pituudet sekä kytkennät, joita vertaamalla paikan päällä tehtyihin havaintoihin muodostettiin kokonaiskuva verkosta. Ongelmia selvitystyössä aiheuttivat lähinnä puutteelliset ja paikoin jopa virheelliset merkinnät.



## 5.2 Sähköverkon suojauksen tarkastelu

Sähköverkon rakennusvaiheen suunnittelutyöstä ei ole saatavilla kunnollisia tietoja, joten ylikuormitus- ja oikosulkusuojaukseen kiinnitetään erityistä huomiota kartoituksen yhteydessä. Selvityksen pohjalta ryhdytään tarvittaessa toimenpiteisiin suojauksien vaatimustenmukaisuuden varmistamiseksi vaihtamalla sulakkeita tai johdonsuoja-automaatteja.

### 5.2.1 Ylikuormitussuojaus

Ensimmäisenä tarkastetaan olemassa olevan ylikuormitussuojauksen sopivuus käytössä oleville kaapeleille. Taulukosta 2 voidaan lukea kullekin sulake- tai johdonsuoja-automaattityypille vaadittava pienin asennustavalla D (maahan upotettu) asennetun alumiinikaapelin poikkipinta-ala.

TAULUKKO 2. Alumiinikaapelin vähimmäispoikkipinta-ala oikosulkusuojauksen nimellisvirran perusteella [4, s. 220]

Suojaimen nimellisvirta (A)	Vähimmäispoikkipinta-ala (mm <sup>2</sup> ), alumiinijohdin (sulake/johdonsuojakatkaisija)
25	16
32	16
35	16
40	16
50	16
63	16
80	25
100	35/25
125	50/35
160	70
200	120
250	150
315	240
400	300 (korjauskerroin 1,1)

Olemassa olevia asennuksia verrattiin Taulukon 1 vaatimuksiin, ja huomattavat puutteet on listattu tämän luvun loppuun yhdessä muissa kohdissa tehtyjen huomioiden kanssa.

### 5.2.2 Muuntajan oikosulkuvirta

Seuraava vaihe työssä oli selvittää oikosulkuvirrat kussakin sähköverkon pisteessä. Sähköverkon oikosulkuvirtojen tarkastelu on aloitettava sitä syöttävästä muuntajasta, sillä kaikkien muiden verkossa myöhemmin olevien osien oikosulkuvirrat riippuvat siitä.

Alueella olevasta muuntajasta ei ollut saatavilla näennäistehon (315kVA) lisäksi muita tietoja, eikä niitä pyydettyä edes saatu verkkoyhtiöltä. Muuntajan tyyppikilvestä käytiin ottamassa kuva, josta saatiin tarvittavat tiedot laskentaa varten. Muuntajan oikosulkuimpedanssi ( $Z_k$ ) saadaan kaavasta

$$Z_k = \frac{Z_k \%}{100} \times \frac{U_n^2}{S_n} \quad (1)$$

jossa  $Z_k$  % on muuntajan oikosulkuimpedanssi 4,23% ,  $U_n$  muuntajan toisiopuolen nimellijännite 410V ja  $S_n$  muuntajan nimellisteho 315kVA. Saadusta vastauksesta voidaan laskea muuntajan oikosulkuvirta ( $I_k$ ) kaavalla

$$I_k = \frac{cU}{\sqrt{3} \times Z_k} \quad (2)$$

jossa  $c$  on kerroin 0,95 ja  $U$  pääjännite. Kuvassa 1 olevan tyyppikilven arvoilla ( $U=410V$ ) laskettu oikosulkuvirta muuntajalle on 9720A.



**KUVA 2. Muuntajan tyyppikilpi**

### 5.2.3 Sähköverkon osien oikosulkuvirrat

Sähköverkossa muuntajan jälkeen olevien pisteiden oikosulkuimpedanssit lasketaan summaamalla kaikkien ennen kyseistä pistettä olevien verkon osien oikosulkuimpedanssit kaavalla 3

$$Z_{ktot} = Z_{k1} + Z_{k2} + Z_{k3} + \dots + Z_{kn} \quad (3)$$

jossa  $Z_{ktot}$  on kokonaisuikosulkuimpedanssi ja  $Z_{k1} \dots Z_{kn}$  ovat verkon osien (käytännössä johtimien) oikosulkuimpedansseja. Saadusta tuloksesta lasketaan kyseessä olevan pisteen oikosulkuvirta kaavalla 2, eli samalla tavalla kuin laskettaessa oikosulkuvirtaa muuntajan oikosulkuimpedanssista.

Koska käsin laskeminen todettiin työlääksi, luotiin sähköverkon osien oikosulkusuojauksen laskentaa varten Excel-taulukko (liite 1), johon merkittiin kaapelien pituudet ja tyypit sekä muuntajan oikosulkuvirta. Kaapelien tiedot saatiin Keylight-järjestelmästä, josta ne kopioitiin Excel-taulukkoon. Taulukko laskee oikosulkuvirran ja -impedanssin jokaiseen keskukseen sekä johtimien ääripäihin. Nämä saadut tulokset merkittiin sähköverkosta luotuun pääkaavioon. Muutamien kaapelien tyypit oli merkitty järjestelmään väärin, nämä virheelliset merkinnät saatettiin järjestelmästä vastaavan suunnittelijan tietoon ja taulukossa käytettiin oikeita kaapelityyppejä.



Taulukosta 3 voidaan lukea tarvittavat oikosulkuvirrat kullekin sulake- ja johdonsuoja-automaattityypille.

**TAULUKKO 3. Vaaditut laskennalliset oikosulkuvirrat erityyppisille oikosukusuojuksille [4, s. 94].**

Nimellisvirta (A)	Vaadittu laskennallinen oikosulkuvirta (A) 5,0s poiskytkentäajalla		
	Johdonsuoja, B-tyyppi	Johdonsuoja, C-tyyppi	gG-sulake
10	50	100	46,5
16	80	160	65
20	100	200	85
25	125	250	110
32	160	320	150
35			165
40			190
50			250
63			320
80			425
100			580
125			715
160			950
200			1250
250			1650
315			2200
400			2840

Vertailtaessa laskettuja oikosulkuvirtojen arvoja, olemassa olevia sulakkeita sekä vaadittuja oikosulkuvirtoja kullekin sulaketyypille, löytyi alueen sähköverkosta useita oikosulkuvirran perusteella ylimitoitettuja sulakkeita, jotka suositellaan vaihtamaan pienempiin. Vaihdeettavat sulakkeet on listattu tämän luvun loppuun.

#### 5.2.4 Suojauksen selektiivisyyden tarkastelu

Viimeinen vaihe suojauksen tarkastelussa on selektiivisyyden tarkastelu. Kartoituksen yhteydessä huomattiin joissain kohdissa sähköverkkoa liian suuria sulakkeita suhteessa aiemmin verkossa oleviin sulakkeisiin. Esimerkkeinä paperinkeräyshallin syötön sulakkeet olivat 1x400A/vaihe ja jakokaapin MS-JK02 syötön sulakkeet 2x250A/vaihe, alueen pääsulakkeiden ollessa 2x200A/vaihe. Tällöin oikosulku paperinkeräyshallin kaapeleissa saattaisi aiheuttaa alueen pääsulakkeiden palamisen, MS-JK02 syöttökaapelissa oleva oikosulku taas aiheuttaisi alueen pääsulakkeiden palamisen varmasti, katkaisten virran syötön koko alueelta. Nämäkin huomioidut kohteet on kerätty tämän luvun lopussa olevaan taulukkoon.

### 5.3 Suositellut toimenpiteet

Taulukkoon 4 on kerätty kartoituksessa löydetty väärän kokoiset suojalaitteet, niiden sijainnit, syyt miksi ne pitää vaihtaa sekä niihin asennettavaksi suositellut suojalaitteet. Asennustyöt on suoritettava kohteen käyttäjän kanssa sovittuna sopivana ajankohtana, sillä esimerkiksi kompostointilaitos on ajettava alas sulakkeiden vaihdon ajaksi.

TAULUKKO 4. Jätekeskuksen alueen vaihdettavat suojalaitteet

Kohde	Sijainti	Nykyisen suojalaitteen tyyppi	Syy	Suosittelun uuden suojalaitteen tyyppi
MS-JK02	MS-JK01 2F ja 3F	gG 250A	Selektiivisyys	gG 160A
Kompostointilaitos (MS-PK-03)	MS-JK02 1F ja 2F	gG 200A	Selektiivisyys	gG 125A
Paperinkeräyshalli (MS-PK04)	MS-JK01 8F	gG 400A	Oikosulkuvirta	gG 200A
MS-JK04	MS-JK04 0F	gG 125A	Selektiivisyys	Poisto (1)
Toimistorakennus (MS-PK08)	MS-JK03 2F	gG 125A	Selektiivisyys	gG 100A
Vanha toimisto (MS-PK08) ja	MS-JK03 3F	gG 80A	Kaapelin kuormitettavuus	gG 50A

öljyvarasto (MS-PK07)				
MS-KVK4 ja Pumppaamo	MS-JK03 4F	gG 63A	Kaapelin kuormitetta- vuus	gG 50A (2)
Katuvalot	MS-KVK4	C16	Oikosulku- virta	B10
MS-PRK9	MS-JK05 2F	Tarkistettava	Oikosulku- virta	gG 50A (3)
Katuväläistys	MS-KVK1 2F	C16	Oikosulku- virta	C10
MS-KVK3 ja MS-PRK 5	MS-JK05 3F	gG 80A	Oikosulku- virta	gG50A (4)

Taulukossa olevat huomautukset

1. Jakokaapissa MS-JK04 on sulakkeet syöttökaapelin molemmissa päissä. Kuitenkin kaapeli on lyhyt, noin 3 metriä, sekä suojattu siten, että sen vaurioitumisen ei pitäisi olla mahdollista. Täten riittävä suojaus toteutuu myös pelkästään kaapelin alkupäässä olevilla sulakkeilla.
2. Johtimet haarahtavat pylväässä ja johdinkoot pienenevät ilman välisulakkeita. Tällöin suojaus on toteutettava pienimmän johtimen kuormitettavuuden ja oikosulkuvirran mukaan. [3 , s. 132]
3. Kyseessä on uusi pistorasiakeskus, joka on rakennettu kartoituksen toteuttamisen jälkeen. Täten ollen työtä kirjoitettaessa asennetuista sulakkeista ei ole tietoa.
4. Vastaava tilanne kuin kohdassa 2. Johdinkoot muuttuvat suojalaitteen jälkeen, joten sulakekoko on valittu pienimmän johtimen kuormitettavuuden ja oikosulkuvirran mukaan.

## 6 SÄHKÖN LAADUN ANALYSOINTI

Työn alkuvaiheessa toivottiin myös analyysiä sähkönkulutuksesta ja -laadusta. Kartoituksen edetessä muodostui kuva suurimmista sähkön kulutuskohteista, joita ovat katu-

ja aluevalaistus, kompostointilaitos sekä paperinkeräyshalli. Tämän perusteella päädyttiin tekemään mittauksia neljästä paikasta: kompostointilaitosta syöttävästä lähdöstä, paperinkeräyshallia syöttävästä lähdöstä, sekä kahdesta jakokaapista, joiden kautta syötetään alueen kaikkia valaistuksia.

Mittaukset suoritettiin Metrel PowerQ4-sähkönlaatuanalysointilaitteella. Kukin mittaus kesti neljä tuntia, ja mittausväliksi asetettiin yksi minuutti. Tallennetut mittaukset siirrettiin tietokoneelle ja analysoitiin Metrel Powerview -ohjelmalla. Tässä luvussa otetaan esille kussakin mittauksessa esiin nousseet ongelmat, tarkemmat mittaustulokset luovutetaan toimeksiantajan käyttöön.

Kaikissa mittauksissa jännite pysyi koko mittauksen ajan yli 230V, johtuen muuntajan läheisestä sijainnista ja pienistä kuormista. Myös jännitteen kokonaissärö (THD) sekä kaikki mitatut yliaallot (parittomat väliltä 3-15) pysyivät koko mittauksien ajan reilusti asetettujen rajojen alapuolella. Näistä syistä jännitettä, kokonaissäröä tai yliaaltoja ei tässä työssä tarkastella tarkasti.

## **6.1 MS-JK02**

Ensimmäinen mittaus sisälsi lajitteluhallin, jonka ainoat kuormat ovat valaistus ja sähköiset nosto-ovet sekä kompostointilaitoksen, jossa on useita moottoreita, taajuusmuuttajia sekä kompensointilaitteisto. Kartoituksen yhteydessä huomattiin, että kaksi kompostointilaitoksen kompensointilaitteiston kondensaattoreista oli vaurioitunut (kuva 3), ja laitteisto vaatii huollon.



**KUVA 3. Kompostointilaitoksen kompensointilaitteisto**

Kompensointilaitteiston viallisuus näkyi mittaustuloksissa induktiivisena loistehona, tehokertoimen ollessa korkeintaan  $0,8_{ind}$ , käyden välillä jopa arvossa  $0,2_{ind}$ . Kompensointilaitteiston tämänhetkisestä kunnosta johtuen mittaustuloksista ei voida tehdä johtopäätöksiä loistehon osalta, vaan on suositeltavaa huoltaa kompensointilaitteisto ja suorittaa uusi mittaus huollon jälkeen.

## 6.2 MS-JK01 8F

Toinen mittaus suoritettiin paperinkeräyshallin syöttöpisteestä. Mittauksen aikana hallin kuorma koostui lähinnä valaistuksesta. Mittauksen perusteella hallissa esiintyisi kapasitiivista ja induktiivista loistehoa yhtä aikaisina piikkeinä. Paperinkeräyshallissa on kymmenen vuotta vanha kompensointilaitteisto, jota ei ilmeisesti ole huollettu koko

käyttöiän aikana kertaakaan, ja tämä voisi selittää mittaustulokset. Induktiivista loistehoa ei hallissa kuitenkaan hetkellisiä piikkejä lukuun ottamatta ole havaittavissa.

Myös tässä kohteessa suositellaan kompensointilaitteiston huoltoa ja huollon jälkeistä mittausta sähkönlaadusta.

### **6.3 MS-JK05**

Kolmanteen mittauskohteeseen sisältyi laajempi kokonaisuus, johon kuului konehalli, kaksi katuvaisinkeskusta sekä pistorasiakeskuksia. Mittaus aloitettiin katuväläistys sammutettuna, katuvälät kytkettiin päälle, annettiin niiden olla päällä noin 30min, jonka jälkeen ne sammutettiin. Näin saatiin selville katuväläisten teho, joka on noin 8kW.

Mittauksessa loistehoja ei juuri ollut, lukuun ottamatta katuväläisten sytytyshetkiä, jolloin esiintyi induktiivista loiskuormaa noin 5kVAr, sekä katuväläisten palamisaikaa, jolloin kapasitiivista loiskuormaa oli noin 1kVAr.

Mittauksessa suurin huomionarvoinen seikka oli vinokuormitus, ensimmäisen vaiheen virran ollessa keskimäärin 30A, toisen 15A ja kolmannen noin 2A. Tämä aiheutti myös nollavirran kasvamista. Varsinaisen mittauksen ohessa suoritettu haarukointi pihtivirtamittarilla osoitti vinokuorman lähteen olevan konehallissa, mitä todennäköisimmin sen lämmityslaitteissa. Jatkotoimenpiteenä suositellaan siirtämään konehallin yksivaiheisia kuormia vaiheiden kesken, jotta eri vaiheille saataisiin tasainen kuormitus.

Mittauksessa toisen ja kolmannen vaiheen tehokertoimet vaikuttavat vääristyneiltä, niiden arvojen heitellessä kohtalaisen rajustikin. Kyseessä on todennäköisesti häiriö mittalaitteessa tai jokin viallinen sähkölaite konehallissa. Mittaus suositellaan suoritettavaksi uudelleen, kun vaiheiden välisiä kuormia mahdollisesti vaihdetaan myöhemmin.

### **6.4 MS-JK03**

Neljäs, viimeinen mittauskohde on alueen alkuperäinen, vuosikymmeniä vanha jakokaappikokonaisuus. Siihen on kytketty vanhoja, alueen alkuperäisiä, jo käytöstä poistuneita rakennuksia, vuonna 1998 rakennettu uusi toimistorakennus ja katuväläistuksia.

Mittaus suoritettiin vastaavalla tavalla kuin edellinen (MS-JK05), eli mittauksen alussa katuvalaistus kytkettiin päälle noin 30min ajaksi. Tästä pisteestä syötetyn katu- ja aluevalaistuksen kokonaisteho on noin 10kW. Syttymishetkellä kapasitiivista loistehoa esiintyy noin 6kVar, syttymisen jälkeen noin 3kVAr.

Vinokuormitusta esiintyi tässäkin kohteessa, ensimmäisen vaiheen virran ollessa ennen katuvalaistuksen syttymistä keskimäärin noin 20A, toisen ja kolmannen vaiheen virtojen ollessa noin 5A. Katuvalaistuksen syttymisen jälkeen taas ensimmäisen ja toisen vaiheen virrat ovat noin 30A ja kolmannen noin 20A. Nollavirran arvo vaihteli mittauksen aikana noin 8-15A välillä.

Suurimmat tähän jakokaappiin kytketyt kuormat ovat uusi toimistorakennus ja katuvalaistus, joten suositellaan tehtäväksi tarkempaa selvitystä vinokuormituksen lähteistä toimistorakennuksen pääkeskuksella ja katuvalaisimissa.

## 7 VALAISTUSOHJAUS

Alueen valaistus on toteutettu samalla tavalla kuin sähköverkkokin, eli pala palalta rakentaen aina tarpeen tullen. Yhtenäistä ohjausjärjestelmää ei ole, vaan jokaista erikseen rakennettua katu- tai aluevalaistusta ohjataan omasta keskuksestaan käsi-nolla-automaattikytkimellä sekä hämäräkytkimellä ja aikareleellä. Tästä on muodostunut ongelma käytön kannalta, valot eivät pala silloin kun niiden pitäisi aikareleiden kellojen hävittäessä aikansa sähkökatkon aikana sekä hämäräkytkimien vikaantuessa.

Työssä kartoitetaan valaistuksen ohjauksen nykytila sekä suunnitellaan uusi, käytön kannalta järkevä ohjausjärjestelmä. Suunnittelussa otetaan huomioon käyttäjien toiveet, järjestelmän helppokäyttöisyys käyttäjien kannalta, tulevien laajennusten ja muutosten toteuttamisen helppous sekä huoltoystävällisyys.

Jätekeskuksen työntekijöiden alkuperäisenä toivomuksena oli, että valaistuksen ohjaus jakautuisi kolmeen ryhmään: katuvalaistus, kenttien valaistus ja pihavalistus. Normaalisti valot ohjautuisivat päälle jätekeskuksen aukioloaikojen mukaisesti, syttyen hieman ennen jätekeskuksen aukeamista, sammuen hämärän loputtua, syttyen uudelleen hämä-

rän tullen sekä sammuen hieman jätekeskuksen sulkeutumisen jälkeen. Toimistorakennuksen pihavalot palaisivat koko hämärän ajan, jätteen lajitteluhallin pihavalot sekä siirtokuormauskentän valot syttyisivät tarvittaessa myös yöaikaan. Valoja pitäisi myös pystyä tarvittaessa ohjaamaan toimistorakennuksessa olevan valvomohuoneen tietokoneelta.

## **7.1 Valaistusohjauksen kartoitus**

Olemassa olevan valaistusohjauksen kartoitus oli varsin yksinkertainen tehtävä, valaistuskeskuksissa olevista käsi-nolla-automaattikytkimistä kytkettiin valot päälle ja käytiin toteamassa, mitkä valaisimet kulloinkin syttyivät. Varsinaista aluejakoa keskusten sisällä ei ollut, eli kontaktorin ohjautuessa päälle, kaikkiin johtolähtöihin ohjautui jännite. Tästä poikkeuksena toimistorakennuksen pääkeskuksessa olevat valaisinohjaukset oli jaettu kolmen katkaisijan (käsi-nolla-hämäräkytkin+kellokytkin-hämäräkytkin) taakse alueittain, kaikkia kuitenkin ohjasi sama kello-hämäräkytkinyhdistelmä.

Valaistusohjauksen keskuksat sekä niihin kytketyt kaapelit suojauksineen ja oikosulkuvirtoineen piirrettiin samaan kuvaan muun sähköverkon kanssa. Lisäksi keskuksista piirretään suunniteltujen laiteasennuksien pohjalta tarpeelliset piirikaaviot.

## **7.2 Uuden valaistusohjauksen suunnittelu**

Lähtökohdat huomioon ottaen vaihtoehdot toteutukseen olivat uudistaa nykyiset aikareleet ja hämäräkytkimet, räätälöidä tarpeisiin sopiva järjestelmä käyttäen esimerkiksi Siemensin LOGO! ohjelmoitavia logiikoita tai toteuttaa järjestelmä katuvalaistukseen suunnitelluilla laitteilla. Nykyisenkaltainen ohjaus on todettu epäluotettavaksi ja vaivalloiseksi, eikä toivottua etäohjausta olisi ollut järkevästi toteutettavissa, joten tämä vaihtoehto hylättiin heti. Ohjelmoitavilla logiikoilla järjestelmän olisi voinut toteuttaa, mutta pitkistä välimatkoista johtuen järjestelmä olisi vaatinut uusia ohjauskaapelointeja, eikä se olisi ollut taloudellisesti järkevää. Lisäksi tulevaisuudessa ilmaantuvien vikojen ja häiriöiden korjaaminen olisi todella työlästä, mikäli järjestelmän suunnittelija ei enää olisi käytettävissä. Näistä syistä päädyttiin suunnittelemaan ohjausjärjestelmä käyttämällä alun perinkin katuvalaistuksen ohjaukseen suunniteltuja laitteita.



Uudessa järjestelmässä nykyiset kello- ja hämäräkytkimet korvataan C2 Smartlight Oy:n valmistamilla C2 Smartlight Street-sarjan GSM-datayhteydellä varustetuilla ohjainyksiköillä. Samalla lisätään kontaktoreita tiettyihin keskuksiin, jotta saadaan luotua aluejakoa katu- ja aluevalaistuksien välille. Myös vanhat kontaktorit vaihdetaan uusiin.

GSM-datayhteyden ansiosta uusia ohjauskaapelointeja katuvalaistuskeskusten välillä ei tarvita, vaan valaistuksia voidaan ohjata ja ohjelmoida miltä tahansa internetiin yhteydessä olevalta tietokoneelta laitetoimittajan ylläpitämän verkkokäyttöliittymän kautta. Käyttöliittymästä on olemassa myös tablet- ja älypuhelinikäyttöön soveltuva, kevyempi versio, josta voidaan ohjata yksittäisiä lähtöjä päälle tai pois tarpeen tullen.

Jätteen lajitteluhallissa ja siirtokuormauskentällä käydään satunnaisesti myös yöaikaan, ja niihin toivottiin mahdollisuutta sytyttää valot käynnin yhteydessä. Lajitteluhallin edustalle on järkevää sijoittaa liiketunnistimet, jotka sytyttävät hallin ulkovalot noin puoleksi tunniksi havaitessaan liikettä. Siirtokuormauskentän lähetyvillä liikkuu paljon lokkeja, joten sinne ei ole järkevää asentaa liiketunnistinta. Tässä kohteessa järkevin vaihtoehto on asentaa kentän läheisyyteen langaton painonappi, jolla valot voidaan sytyttää ennalta määritetyksi ajaksi.

Muutostyön toteuttamisesta ei vielä opinnäytetyön valmistuessa ole tehty päätöstä, joten valaistusohjausjärjestelmästä laaditaan valmiiksi tarpeelliset dokumentit eli ohjauspiirikaaviot, komponenttilistat ja työohjeet, joiden avulla muutostyöt voidaan toteuttaa. Valmiiden suunnitelmien ansiosta työ voidaan toteuttaa nopealla aikataululla päätöksen synnyttyä.

## **8 POHDINTAA**

Työn alkuvaiheessa oli hiukan epäselvyyttä siitä, mitä kaikkea työhön sisällytetään. Työn edetessä päämäärä kuitenkin selkeytyi, ja opinnäytetyöhön rajattiin tässä raportissa esitellyt asiat. Näissä asioissa (kartoitus, sähköön laadullinen tarkastelu ja valaistusohjauksen suunnittelu) päästiin tavoitteisiin hyvin. Opinnäytetyöhön liittyvän kartoituksen yhteydessä tehtiin huomioita asioista, joita on syytä tarkastella lähitulevaisuudessa, kuten työssä mainitut kompensointiparistojen huoltotarpeet. Näistä laadittiin erillinen listaus toimeksiantajan käyttöön.

Huolto- ja asennustöiden järjestelmällinen suunnittelu ja tarkka dokumentointi olisi ensiarvoisen tärkeää niin huoltojen kuin tulevien uusien asennustenkin suunnittelun ja toteuttamisen helpottamiseksi. Tässä kohteessa vuosien varrella tehtyjen töiden dokumentointi toteutettiin jälkikäteen näin opinnäytetyön muodossa, ja aivan kuten etukäteen oletettiin, asioiden selvittely jälkikäteen oli melko työlästä. Ei ollut olemassa yhtä yksittäistä kohdetta, josta tietoa olisi voinut etsiä, vaan tärkeimmät tiedot oli joko selvitettävä itse paikan päällä käymällä tai sellaisia henkilöitä haastatteleamalla, jotka ovat kohteeseen joskus asennustöitä tehneet. Poikkeuksena oli Keylight-järjestelmä, johon oli muutamia virheitä lukuun ottamatta kattavasti merkitty tietoja sähköverkon osista, esimerkiksi tiedot kaapeleiden pituuksista olivat korvaamattomia oikosulkuvirtojen laskeutuksessa.

Työssä pyrittiin saamaan aikaan dokumentointi, josta saisi hyvät ja luotettavat pohjatiedot tulevien asennusten suunnitteluun ilman paikan päällä käymisen tarvetta, ja joka olisi helposti päivitettävissä ajan tasalle uusien asennusten toteuttamisen jälkeen. Koska työssä tarvittujen dokumenttien luontiin ei ollut käytettävissä mitään erikoisohjelmia tai -työkaluja, dokumentit tuotettiin itse alusta alkaen taulukkolaskenta- ja CAD-piirustusohjelmilla. Esimerkiksi työssä toteutettu oikosulkuvirrat laskeva taulukko toimii verrattain hyvin nykyisellään, mutta siihen on kohtuullisen työlästä tehdä suuria muutoksia muutostöiden jälkeen, varsinkin jos taulukon muutoksia ei tee sama henkilö, joka taulukon on alun perin muodostanut. Mikäli halutaan helpommin päivitettäviä, käyttäjäystävällisempiä dokumentteja, saatavilla on todennäköisesti suoraan tähän käyttötarkoitukseen tarkoitettuja ohjelmistoja, joita käyttämällä voidaan keskittyä paremmin varsinaiseen dokumentoinnin ylläpitämiseen, eikä niinkään työkalujen päivittämiseen jokaisen suuremman muutostyön yhteydessä.

Itselleni työn tekeminen oli ammatillisesti antoisaa. Opin hyödyntämään sähköalaan liittyviä standardeja ja määräyksiä käytännössä sekä onnistuin syventämään ymmärrystäni vaihtosähkön ominaisuuksista sähkön laadun analysoinnin yhteydessä. Lisäksi kaiken tehdyn työn ja dokumentoinnin järjestelmällisyyden tärkeys korostui mielessäni, joten tulevaisuuden tehtävissäni tulen varmasti kiinnittämään entistä enemmän huomiota edellä mainittuihin seikkoihin.

## LÄHTEET

1. Asennus ja huolto. Etelä-Savon Energia Oy. WWW-dokumentti. <http://www.esse.fi/fi/palvelut/asennus-ja-huolto/>. Päivitetty 12.3.2015. Luettu 26.11.2015.
2. Vuosikertomus 2014. Metsäsairila Oy. PDF-dokumentti. [http://www.metsasairila.fi/metsasairila/fi/liitetiedostot/Vuosikertomukset/vuosikertomus2014\\_nettiin.pdf](http://www.metsasairila.fi/metsasairila/fi/liitetiedostot/Vuosikertomukset/vuosikertomus2014_nettiin.pdf). Päivitetty 21.4.2015. Luettu 24.11.2015.
3. SFS-käsikirja 600-1. Helsinki. Suomen standardoimisliitto SFS ry. 2012.
4. D1 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista. Espoo. Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry. 2012.
5. TTT-käsikirja. Luku 9. Loistehon kompensointi ja yliaaltosuodatus. PDF-dokumentti. [http://www.oamk.fi/~kurki/automaatio-labrat/TTT/09\\_0\\_Loistehon%20kompensointi%20ja%20yliaallot.pdf](http://www.oamk.fi/~kurki/automaatio-labrat/TTT/09_0_Loistehon%20kompensointi%20ja%20yliaallot.pdf). Päivitetty 4.9.2007. Luettu 26.11.2015.
6. Muuntajat ja sähkölaitteet. Korpinen, Leena. PDF-dokumentti. [http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt\\_opus/9muuntajat\\_ja\\_sahkolaitteet.pdf](http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt_opus/9muuntajat_ja_sahkolaitteet.pdf). Päivitetty 29.11.2007. Luettu 27.11.2015
7. Yliaalto-opus. Korpinen, Leena. PDF-dokumentti. <http://www.leenakorpinen.fi/archive/opukset/yliaalto-opus.pdf>. Päivitetty 16.6.2008. Luettu 26.11.2015.
8. SFS-Käsikirja 600-2. Helsinki. Suomen standardoimisliitto SFS ry. 2012

## Jätekeskuksen sähköverkon oikosulkuvirrat

## Muuntamo

$U_n$ (V)	$S_n$ (kVA)	$Z_n$ ( $\Omega$ )	$Z_k$ (%)	$Z_k$ ( $\Omega$ )	$I_k$
410	315	1,3015873	4,23	0,0226	9719,08639

## Kaapelit

Lähtö	Kohde	Kaapeli nro	Tyyppi	Vaihejohdin	Maajohdin	kpl	pituus (m)	$Z_v$ ( $\Omega$ /km)	$Z_{pe}$ ( $\Omega$ /km)	Z	$Z_k$ ( $\Omega$ )	$I_k$ (A)
1	MS-JK01	1162811	AXMK 4*185	Al185	Al185	2	40,3	0,222	0,222	0,0089	0,03152	6960

## MS-JK01

$I_k$	$Z_k$
6960,43475	0,03152003

## Kaapelit

Lähtö	Kohde	Kaapeli nro	Tyyppi	Vaihejohdin	Maajohdin	kpl	pituus (m)	$Z_v$ ( $\Omega$ /km)	$Z_{pe}$ ( $\Omega$ /km)	Z	$Z_k$ ( $\Omega$ )	$I_k$ (A)
2 (keskus)	MS-JK02	1195781	AXMK 4*185	Al185	Al185	2	4,4	0,222	0,222	0,001	0,0325	6751
2 (Kaapeli)	MS-JK02	1195781	AXMK 4*185	Al185	Al185	1	4,4	0,222	0,222	0,002	0,03347	6554
4	MS-JK05	1162841	AXMK 4*120	Al120	Al120	1	115,4	0,326	0,326	0,0752	0,10676	2055
5	MS-PK01	1162831	AXMK 4*70	Al70	Al70	1	62,3	0,557	0,557	0,0694	0,10092	2174
6+7 (keskus)	MS-JK03	1162901	AXMK 4*120	Al120	Al120	2	260,8	0,326	0,326	0,085	0,11654	1883
6+7 (kaapeli)	MS-JK03	1162901	AXMK 4*120	Al120	Al120	1	260,8	0,326	0,326	0,17	0,20156	1088
8 (Keskus)	MS-PK04	1162881	AXMK 4*185	Al185	Al185	2	282,2	0,222	0,222	0,0626	0,09417	2330
8 (kaapeli)	MS-PK04	1162881	AXMK 4*185	Al185	Al185	1	282,2	0,222	0,222	0,1253	0,15682	1399

LIITE 1(2).

Jätekeskuksen sähköverkon oikosulkuvirrat

15	MS-PRK1	1162921	MCMK 4*10	Cu10	Cu10	1	78,1	2,246	2,246	0,3508	0,38235	573,8
----	---------	---------	-----------	------	------	---	------	-------	-------	--------	---------	-------

MS-JK02

lk	Zk
6751,21579	0,03249683

Kaapelit

Lähtö	Kohde	Kaapeli nro	Tyyppi	Vaihejohdin	Maajohdin	kpl	pituus (m)	Zv(Ω/km)	Zpe(Ω/km)	Z	Zk (Ω)	Ik (A)
1+2	MS-PK03	1195761	AXMK 4*185	Al185	Al185	2	273,8	0,222	0,222	0,0608	0,09328	2352
1+2 (kaapeli)	MS-PK03	1195761	AXMK 4*185	Al185	Al185	1	273,8	0,222	0,222	0,1216	0,12157	1805
3	MS-PK09	1195811	AXMK 4*35	Al35	Al35	1	121,2	1,089	1,089	0,264	0,29647	740
4	TMK va-raus	1195801	AXMK 4*35	Al35	Al35	1	109,3	1,089	1,089	0,2381	0,27055	810,9

MS-JK03

lk	Zk
1882,54284	0,11654083

Kaapelit

Lähtö	Kohde	Kaapeli nro	Tyyppi	Vaihejohdin	Maajohdin	kpl	pituus (m)	Zv(Ω/km)	Zpe(Ω/km)	Z	Zk (Ω)	Ik (A)
1	MS-JK04	?	AXMK 4*120	Al120	Al120	1	3	0,326	0,326	0,002	0,1185	1851
2	MS-PK08	1163951	AXMK 4*70	Al70	Al70	1	103,5	0,557	0,557	0,1153	0,23184	946,3
3	MS-PK05	1163931	AXMK 4*70	Al70	Al70	1	34,3	0,557	0,557	0,0382	0,15475	1418
3	MS-PK06	1163941	AXMK 4*70	Al70	Al70	1	64,4	0,557	0,557	0,0717	0,18828	1165

LIITE 1(3).

Jätekeskuksen sähköverkon oikosulkuvirrat

4	MS-PYL3	1164881	AXMK 4*95	Al95	Al95	1	166	0,406	0,406	0,1348	0,25133	872,9
---	---------	---------	-----------	------	------	---	-----	-------	-------	--------	---------	-------

MS-JK04

lk	Z <sub>k</sub>
1851,46814	0,11849683

Kaapelit

Lähtö	Kohde	Kaapeli nro	Tyyppi	Vaihejohdin	Maajohdin	kpl	pituus (m)	Z <sub>v</sub> (Ω/km)	Z <sub>pe</sub> (Ω/km)	Z	Z <sub>k</sub> (Ω)	lk (A)
5	MS-PYL86	1164791	AXMK 4*25	Al25	Al25	1	8,3	1,492	1,492	0,0248	0,14326	1531

MS-JK05

lk	Z <sub>k</sub>
2054,99625	0,10676083

Kaapelit

Lähtö	Kohde	Kaapeli nro	Tyyppi	Vaihejohdin	Maajohdin	kpl	pituus (m)	Z <sub>v</sub> (Ω/km)	Z <sub>pe</sub> (Ω/km)	Z	Z <sub>k</sub> (Ω)	lk (A)
1	MS-KVK1	?	AXMK 4*25	Al25	Al25	1	3	1,492	1,492	0,009	0,11571	1896
2	MS-PRK9	1221231	AMCMK 4*25+16	Al25	Cu16	1	244,3	1,492	1,418	0,7109	0,81767	268,3
3	MS-PYL60	1162981	AXMK 4*95	Al95	Al95	1	130,9	0,406	0,406	0,1063	0,10629	2064
4	MS-KVK2	1162941	AXMK 4*70	Al70	Al70	1	117,1	0,557	0,557	0,1304	0,13045	1682
5	MS-PK02	1164521	AXMK 4*25	Al25	Al25	1	56,6	1,492	1,492	0,1689	0,16889	1299
6	MS-PRK3	1164531	AXMK 4*25	Al25	Al25	1	60,6	1,492	1,492	0,1808	0,18083	1213

Jätekeskuksen sähköverkon oikosulkuvirrat

MS-PK01

Ik	Zk
2173,88285	0,10092223

MS-PK02

Ik	Zk
1298,99572	0,1688944

MS-PK03

Ik	Zk
2351,97357	0,09328043

MS-PK04

Ik	Zk
2329,79466	0,09416843

MS-PK05

Ik	Zk
1417,7166	0,15475103

## Jätekeskuksen sähköverkon oikosulkuvirrat

## MS-PK06

lk	Zk
1165,23408	0,18828243

## MS-PK07

lk	Zk
609,857896	0,35974463

## MS-PK08

lk	Zk
946,313253	0,23183983

Lähtö	Kohde	Kaapeli nro	Tyyppi	Vaihejoh-		Maajoh-		Kaapelit				
				din	din	kpl	pituus (m)	Z <sub>v</sub> (Ω/km)	Z <sub>pe</sub> (Ω/km)	Z	Z <sub>k</sub> (Ω)	lk (A)
59	KV		AXMK 4*16	Al16	Al16	1	107,7	2,326	2,326	0,501	0,73286	299,4
			AXMK 4*25	Al25	Al25	1	220,5	1,492	1,492	0,658	1,39083	157,7
60	KV		AXMK 4*16	Al16	Al16	1	168,5	2,326	2,326	0,7839	1,0157	216
			AXMK 4*25	Al25	Al25	1	114,8	1,492	1,492	0,3426	1,35827	161,5
61			AXMK 4*16	Al16	Al16	1	23,5	2,326	2,326	0,1093	0,34116	643,1
			AXMK 4*25	Al25	Al25	1	130	1,492	1,492	0,3879	0,72908	300,9
41-43	MS-PK10	1202721	MCMK 4*6+6	Cu6	Cu6	1	72,5	3,66	3,66	0,5307	0,76254	287,7
	8 MS-PRK6	1163961	MCMK 4*10+10	Cu10	Cu10	1	23,7	2,246	2,246	0,1065	0,10646	2061



## Jätekeskuksen sähköverkon oikosulkuvirrat

## MS-PK09

lk	Z <sub>k</sub>
740,016815	0,29647043

## MS-PK10

lk	Z <sub>k</sub>
287,71363	0,76253983

## MS-PK11

lk	Z <sub>k</sub>
#PUUTTUU!	#PUUTTUU!

## MS-KVK1

lk	Z <sub>k</sub>
1896,01365	0,11571283

Lähtö	Kohde	Kaapeli nro	Tyyppi	Kaapelit		kpl	pituus (m)	Z <sub>v</sub> (Ω/km)	Z <sub>pe</sub> (Ω/km)	Z	Z <sub>k</sub> (Ω)	I <sub>k</sub> (A)
				Vaihejoh- din	Maajoh- din							
1	MS-KV73	1164561	AXMK 4*25	Al25	Al25	1	50,8	1,492	1,492	0,1516	0,2673	820,8
2	KV+kenttä2		AXMK 4*25	Al25	Al25	1	215,1	1,492	1,492	0,6419	0,75757	289,6
			AXMK 4*16	Al16	Al16	1	137,7	2,326	2,326	0,6406	1,39815	156,9
2	KV puujäte	?	AXMK 4*25	Al25	Al25	1	110,3	1,492	1,492	0,3291	0,44485	493,2

## Jätekeskuksen sähköverkon oikosulkuvirrat

3	Penkka		AXMK 4*25	Al25	Al25	1	285,2	1,492	1,492	0,851	0,96675	226,9
---	--------	--	-----------	------	------	---	-------	-------	-------	-------	---------	-------

## MS-KVK2

lk	Zk
1681,82531	0,1304494

## Kaapelit

Lähtö	Kohde	Kaapeli nro	Tyyppi	Vaihejohdin	Maajohdin	kpl	pituus (m)	Z <sub>v</sub> (Ω/km)	Z <sub>pe</sub> (Ω/km)	Z	Z <sub>k</sub> (Ω)	lk (A)
1	MS-PRK4	?	AXMK 4*25+25	Al25	Al25	1	8	1,492	1,492	0,0239	0,15432	1422
4F1	KV	1164381	MCMK 2*1,5 + 1,5	Cu1,5	Cu1,5	1	37	14,62	14,62	1,0819	1,21233	181
4F2	KV	1164361	MCMK 2*1,5 + 1,5	Cu1,5	Cu1,5	1	6,7	14,62	14,62	0,1959	0,32636	672,2
4F3	KV	1164351	MCMK 2*1,5 + 1,5	Cu1,5	Cu1,5	1	82,3	14,62	14,62	2,4065	2,5369	86,48

## MS-KVK3

lk	Zk
388,818239	0,5642562

## Kaapelit

Lähtö	Kohde	Kaapeli nro	Tyyppi	Vaihejohdin	Maajohdin	kpl	pituus (m)	Z <sub>v</sub> (Ω/km)	Z <sub>pe</sub> (Ω/km)	Z	Z <sub>k</sub> (Ω)	lk (A)
Pylväässä	MS-PRK5	1163901	SAMKA 3*70	Al70	Al70	1	37,5	0,557	0,557	0,0418	0,60603	362
2	KV		AMKA 3*16+25	Al16	Al25	1	286,5	2,326	1,492	1,0939	1,65811	132,3
2	SKK valot		AMKA 3*16+25	Al16	Al25	1	37,5	2,326	1,492	0,1432	0,70743	310,1
			AXMK 4*35	Al35	Al35	1	66,7	1,089	1,089	0,1453	0,8527	257,3
			AXMK 4*35	Al35	Al35	1	19,6	1,089	1,089	0,0427	0,89539	245
			AMKA 3*25+35	Al25	Al35	1	77,8	1,492	1,089	0,2008	1,05351	208,3

## Jätekeskuksen sähköverkon oikosulkuvirrat

## MS-KVK4

Ik 409,995325 Zk 0,53511123

## Kaapelit

Lähtö	Kohde	Kaapeli nro	Tyyppi	Vaihejohdin	Maajohdin	kpl	pituus (m)	Z <sub>v</sub> (Ω/km)	Z <sub>pe</sub> (Ω/km)	Z	Z <sub>k</sub> (Ω)	I <sub>k</sub> (A)
	2 KV	?	AXMK 4*25	Al25	Al25	1	220,9	1,492	1,492	0,6592	1,19428	183,7
	2 KV	?	AXMK 4*25	Al25	Al25	1	815	1,492	1,492	2,432	2,96707	73,94
Jatkos	MS-PRK8		AXMK 4*25	Al25	Al25	1	59,2	1,492	1,492	0,1767	0,71176	308,2

## MS-PRK1

Ik 573,808919 Zk 0,38234523

## Kaapelit

Lähtö	Kohde	Kaapeli nro	Tyyppi	Vaihejohdin	Maajohdin	kpl	pituus (m)	Z <sub>v</sub> (Ω/km)	Z <sub>pe</sub> (Ω/km)	Z	Z <sub>k</sub> (Ω)	I <sub>k</sub> (A)
-	MS-PRK2	1162931	MCMK 4*10+10	Cu10	Cu10	1	27,1	2,246	2,246	0,1217	0,50408	435,2

## MS-PRK2

Ik 435,236046 Zk 0,50407843

Jätekeskuksen sähköverkon oikosulkuvirrat

MS-PRK3

lk	Zk
1213,25343	0,1808304

MS-PRK4

lk	Zk
1421,6635	0,1543214

MS-PRK5

lk	Zk
362,016184	0,6060312

MS-PRK6

lk	Zk
2060,7954	0,1064604

Lähtö	Kohde	Kaapeli nro	Tyyppi	Kaapelit			pituus (m)	Z <sub>v</sub> (Ω/km)	Z <sub>pe</sub> (Ω/km)	Z	Z <sub>k</sub> (Ω)	I <sub>k</sub> (A)
				Vaihejohdin	Maajohdin	kpl						
-	MS-PRK7	1163971	MCMK 4*10+10	Cu10	Cu10	1	13,8	2,246	2,246	0,062	0,16845	1302

Jätekeskuksen sähköverkon oikosulkuvirrat

MS-PRK7

lk	Zk
1302,42269	0,16845

MS-PRK8

lk	Zk
308,238536	0,71176403

MS-PRK9

lk	Zk
268,313715	0,81767383

MS-PYL60

lk	Zk
2064,08365	0,1062908

Lähtö	Kohde	Kaapeli nro	Tyyppi	Kaapelit			pituus (m)	Z <sub>v</sub> (Ω/km)	Z <sub>pe</sub> (Ω/km)	Z	Z <sub>k</sub> (Ω)	I <sub>k</sub> (A)
				Vaihejohdin	Maajohdin	kpl						
1	MS-KVK3	?	SAMKA 4*70	Al70	Al70	1	411,1	0,557	0,557	0,458	0,56426	388,8

## Jätekeskuksen sähköverkon oikosulkuvirrat

## MS-PYL3

Ik                      Zk  
 872,918606    0,25133283

Lähtö	Kohde	Kaapeli nro	Tyyppi	Vaihejoh- din		Maajoh- din		Kaapelit				
						kpl	pituus (m)	Z <sub>v</sub> (Ω/km)	Z <sub>pe</sub> (Ω/km)	Z	Z <sub>k</sub> (Ω)	I <sub>k</sub> (A)
1	paamo	Useita	SAMKA 4*70	Al70	Al70	1	197,3	0,557	0,557	0,2198	0,47113	465,7
2	MS-KVK4	1164771	AXMK 4*25	Al25	Al25	1	95,1	1,492	1,492	0,2838	0,53511	410

## MS-PYL86

Ik                      Zk  
 1531,39001    0,14326403

Lähtö	Kohde	Kaapeli nro	Tyyppi	Vaihejoh- din		Maajoh- din		Kaapelit				
						kpl	pituus (m)	Z <sub>v</sub> (Ω/km)	Z <sub>pe</sub> (Ω/km)	Z	Z <sub>k</sub> (Ω)	I <sub>k</sub> (A)
1	MS-PK07	1163841	AMKA 3*16+25	Al16	Al25	1	56,7	2,326	1,492	0,2165	0,35974	609,9

Palvasen Pump-  
paamo

Ik                      Zk  
 465,679149    0,47112503