

# KEMI-TORNION AMMATTIKORKEAKOULU

## Porraselementtitehtaan pääkeskuksen suunnittelu

Tuomo Mäkihannu

Sähkötekniikan koulutusohjelman opinnäytetyö  
Sähkövoimatekniikka  
Insinööri(AMK)

KEMI 2011

## **ALKUSANAT**

Opinnäytetyö on tehty Lemminkäinen rakennustuotteet Oy:lle toimeksiantona. Tästä suuri kiitos kuuluu Marko Kaisanlahdelle ja kunnossapitoinsinööri Pasi Makkoselle, joka toimi myös työn valvojana.

Parhaimmat kiitokset esitän Suonenjoen Sähköasennuksen palveluksessa toimivalle insinööri Marko Haimilalle, joka on antanut hyviä neuvoja työn tekemisessä.

Lisäksi haluan kiittää opinnäytetyön ohjaajaa DI Jaakko Ettoa työn ohjauksesta ja hyvistä kommentteista.

## TIIVISTELMÄ

Kemi-Tornion ammattikorkeakoulu, Tekniikan ala	
Koulutusohjelma	Sähkötekniikka
Opinnäytetyön tekijä	Tuomo Mäkihannu
Opinnäytetyön nimi	Porraselementtitehtaan pääkeskuksen suunnittelu
Työn laji	Opinnäytetyö
Päiväys	13.5.2011
Sivumäärä	59 + 36 liitesivua
Opinnäytetyön ohjaaja	DI Jaakko Etto
Yritys	Lemminkäinen Rakennustuotteet Oy
Yrityksen yhteyshenkilö/valvoja	Pasi Makkonen

Opinnäytetyön päätavoitteena oli suunnitella uusi pääkeskus Lemminkäinen Rakennustuotteet Oy:n Porraselementtitehtaaseen siten, että työn tuloksena syntyy tarjouspyyntö keskusvalmistajille, sekä toteutusehdotus tehtaan sähkönjakelusta. Työssä mitoitettiin myös uuden pienjänniteliittymän koko sekä liittymiskaapelit. Työssä selvitettiin loistehon kompensoinnin kannattavuus, sekä tehtiin valaistussuunnitelma hallin laajennusosaan. Valaistussuunnitelma on opinnäytetyön liitteenä.

Opinnäytetyössä tutustuttiin erilaisiin kojeistoihin, kojeisiin sekä prosessiteollisuuden jakokeskusstandardiin ja oikosulkuvirtalaskennan teoriaan. Keskuksen hankintaa varten suunniteltiin pääkaavio ja piirikaaviot. Lisäksi piirrettiin maadoituskaavio ja nousujohtokaaviot selkeyttämään tehtaan sähkönsyötön rakennetta. Sähköpiirustukset tehtiin Kymdatan CADS Planner -sähkösuunnitteluohjelmistolla.

Työn alussa tehtiin selvitys siitä, minkälaiset ratkaisut tehtaan sähkönsyöttöön olisivat mahdollisia ja mitä muutoksia ne vaatisivat. Tämän jälkeen käytiin tehtaan johtajan johdolla läpi, mitä muutoksia tehtäseen on tulevaisuudessa suunnitteilla.

Tehtaan vanha liittymä on suhteessa liian pieni tehtaan sähkönkulutukseen ja tulevaisuuden suunnitelmien mukaan tehtaan tehonkulutus olisi kasvamassa merkittävästi. Näin ollen vanha pääkeskus jätettiin pienemmäksi ryhmäkeskukseksi syöttämään osaa tehtaan sähköistä.

Tehtaan sähkönkulutusta mitattiin Fluke 1735 -energia-analysointilaitteella yhden viikon ajan. Mittaustuloksista saatiin paljon arvokasta tietoa tehtaan sähkönkulutuksesta. Mittaustuloksia käytettiin työssä esiteltyjen laskelmien perustana. Opinnäytetyössä esitettyjen laskelmien mukaan tehtaan pääsulakkeiden koko vaihtui 125 ampeerista 500 ampeeriin ja syöttökaapeleiksi valittiin rinnansyöttönä alumiinivoimakaapeli AXMK 4x300mm<sup>2</sup>. Laskelmien mukaan loistehon kompensointi tulisi taloudellisesti erittäin kannattavaksi, joten tehtäseen tullaan asentamaan 100 kilovarin automaattinen kompensointiparisto.

Asiasanat: Pääkeskus, mitoitus, kompensointi.

## ABSTRACT

Kemi-Tornio University of Applied Sciences, Technology	
Degree Programme	Electrical Engineering
Name	Tuomo Mäkihannu
Title	Designing a Switchboard in a Stair Element Factory
Type of Study	Bachelor's Thesis
Date	May 13, 2011
Pages	59 + 36 appendices
Instructor	Jaakko Etto, MSc (El. Eng.)
Company	Lemminkäinen Rakennustuotteet Oy
Supervisor from Company	Pasi Makkonen

The purpose of this thesis was to design a new switchboard in a stair element factory for Lemminkäinen Rakennustuotteet Oy. As a result of this thesis will arise an invitation for tenders of switchboard supplying and also an implementation proposition of electrical distribution in the factory. The purpose was also to clarify the profitability of the compensation of parasitic power. Also a lightning design was done to the extension part of the factory. Lightning design is shown in the appendix.

Various types of switchboards and electrical components were explored before designing. Before designing the switchboard the matters that standards set to planning and manufacturing electrical cabinets must be clarified and the calculating theory of the short circuits must be known. For the acquisition of the switchboard the electrical schemes were designed by using CADS Planner electricity planning application.

In the beginning of the thesis a clarification was made to find out all the possible variations of the electrical distribution to the factory. Also the future planning and wishes were discussed through with the plant manager.

The current switchboard was too old and small to work out as a main switchboard so it was retained as a sub distribution board to distribute electricity to the older part of the factory.

Electrical consumption of the factory was measured by an energy analyzer for one week. Most of the calculations in this thesis are based on those measurement results. Based on the calculations shown in appendix the current of the main fuses increases from 125 ampere to 500 ampere. Electricity is fed to the factory by two 4x300 mm<sup>2</sup> aluminium power cable connected to parallel. According to calculations the compensation of parasitic power is very profitable. There will be a 100 kVAr automatic compensation capacitor installed to the factory and it will save about 1000 euros in a year in the electricity bill.

Keywords: Switchboard, design, compensation.

## SISÄLLYSLUETTELO

ALKUSANAT .....	I
TIIVISTELMÄ .....	II
ABSTRACT .....	III
SISÄLLYSLUETTELO .....	IV
KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET .....	VI
1. JOHDANTO .....	1
2. YRITYS .....	2
3. SÄHKÖLIITTYMÄN MITOITUS .....	4
3.1. Liittymistehon määrittäminen .....	4
3.2. Syöttökaapelin mitoitus .....	6
3.2.1. Jännitteenalenema .....	8
3.2.2. Oikosulkukestoisuus .....	10
4. PIENJÄNNITEVERKON SUOJAUS .....	12
4.1. Ylivirtasuojaus .....	12
4.1.1. Ylikuormitussuojaus .....	12
4.1.2. Oikosulkusuojaus .....	14
4.2. Moottorilähdön suojaus .....	15
4.2.1. Sulakkeellinen moottorilähtö .....	16
4.2.2. Sulakkeeton moottorilähtö .....	16
4.3. Selektiivisyys .....	17
4.4. Pienjänniteverkon maadoitus .....	19
5. LOISTEHON KOMPENSOINTI .....	22
5.1. Kompensointitavat ja kompensoinnin edut .....	24
5.2. Kompensointilaitteet .....	25
5.2.1. Automatiikkaparisto .....	25
5.2.2. Estokeloilla varustettu automatiikkaparisto .....	25
5.2.3. Yliaaltosuodattimet .....	26
5.3. Loisteho yrityksessä .....	26
5.4. Loistehotarpeen määrittäminen .....	29
5.5. Kompensointipariston valinta .....	31
5.6. Takaisinmaksuaika .....	33
6. SÄHKÖKESKUKSET .....	35
6.1. Sähkökeskusten yleinen rakenne .....	35
6.1.1. Keskuksen kotelointi .....	35
6.1.2. Ovet .....	36
6.1.3. Kaapelikenttä .....	36
6.1.4. Kiskosto .....	36
6.2. Keskusrakenteet .....	37
6.2.1. Kennokeskus .....	37
6.2.2. Kotelokeskus .....	39
6.2.3. Kaappikeskus .....	39
7. PÄÄKESKUKSEN MITOITUS .....	41
7.1. Rakenne .....	41
7.2. Kalustus .....	42
7.3. Kaapelointi .....	43

7.4.	Oikosulkusuojaus .....	43
7.4.1.	Oikosulkurasitukset.....	44
7.4.2.	Oikosulkukestävyys ja sen määrittäminen .....	45
7.5.	Oikosulkuvirtojen laskenta.....	46
7.5.1.	Oikosulkuvirran laskeminen Thevenin menetelmällä.....	47
7.5.2.	Suurin oikosulkuvirta .....	50
7.5.3.	Pienin oikosulkuvirta .....	51
7.5.4.	Terminen oikosulkuvirta .....	52
7.5.5.	Dynaaminen oikosulkuvirta .....	54
8.	VALAISTUSSUUNNITELMA.....	56
9.	YHTEENVETO .....	57
10.	LÄHDELUETTELO .....	58
11.	LIITELUETTELO .....	59

## KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

$P_L$	Liittymän teoreettinen liittymisteho
$P_{LTO D}$	Liittymän arvioitu todellinen liittymisteho
$I_{N+20\%}$	Liittymän huippuvirta 20% laajennusvaralla
$I_{NK}$	Syöttökaapelin nimellisvirta
$I_{jkuorm0}$	Syöttökaapeleiden kuormitettavuus
$I_{jkuorm1}$	Syöttökaapeleiden kuormitettavuus korjauskerroin huomioituna
$I_{k1s}$	Kaapelin 1 sekunnin oikosulkukestävyys
$I_F$	Oikosulkurajavirta
$I_k$	Oikosulkuvirta
$I_{k1v}$	Yksivaiheinen oikosulkuvirta
$I_{k2v}$	Kaksivaiheinen oikosulkuvirta
$I_{k3v}$	Kolmivaiheinen oikosulkuvirta
$I_N$	Suojalaitteen tai laitteen nimellisvirta
$I_Z$	Johtimen jatkuva kuormitettavuus
MEB	Päämaadoituskisko
$U_k$	Kosketusjännite
$Q_h$	Loistehon suurin tuntikeskiteho
$P_h$	Pätötehon suurin tuntikeskiteho
$Q_i$	Loistehon ilmaisosuus
$Q_m$	Maksettava loistehon määrä
$Q_k$	Tarvittava kompensointiteho
$I_{Q0}$	Liittymän kuormitusvirta ilman loistehon kompensointia
$I_{Q1}$	Liittymän kuormitusvirta kun loisteho on kompensoitu
$I_{cw}$	Pääkeskuksen terminen nimelliskestovirta
$I_{pk}$	Pääkeskuksen dynaaminen nimelliskestovirta
$I_{CC}$	Ehdollinen nimellisoikosulkuvirta, kun virtaa rajoittava koje on katkaisija
$I_{cf}$	Ehdollinen nimellisoikosulkuvirta, kun virtaa rajoittava koje on sulake
$E_{EKV}$	Ekvivalenttinen jännitelähde

$Z_Q$	Taustaverkon impedanssi
$Z_M$	Päämuuntajan impedanssi
$Z_j$	Johtimien impedanssi
$E_{EKV}$	Ekvivalenttinen jännitelähde
$i_s$	Sysäysoikosulkuvirta
$I_{TH}$	Ekvivalenttinen terminen oikosulkuvirta
$I_{THN}$	Laitteen nimellinen terminen oikosulkukestoisuus
$t_N$	Laitteen nimellistä termistä oikosulkukestoisuutta vastaava aika
$I_k''$	Alkuoikosulkuvirran tehollisarvo



## 1. JOHDANTO

Opinnäytetyö tehtiin Lemminkäinen Rakennustuotteet Oy:n porraselementtitehtaaseen. Tehdas sijaitsee Suonenjoella, ja se on alun perin rakennettu leipomoksi 1970-luvulla. Tämän jälkeen kiinteistössä on ollut eri alojen toimijoita, muun muassa kumikorjaamo sekä lasikuitutuotteita valmistava yritys.

Myöhemmin kiinteistön on omistanut Suonenjoen Sementtituote Oy, joka on laajentanut kiinteistöä ja alkanut valmistaa rakennuselementtejä. Laajennuksista huolimatta kiinteistön pääkeskusta ei ole laajennettu vaan koko kiinteistön nykyinen sähköistys on vieläkin vanhan pääkeskuksen varassa. Tehdas onkin kipeästi sähkö saneerauksen tarpeessa, sillä kiinteistön nykyinen 125 A:n liittymä on aivan liian pieni ja pääsulakkeet palavat.

Opinnäytetyön tavoitteena oli mitoittaa kiinteistölle uusi liittymä sekä suunnitella uusi pääkeskus. Tavoite saavutettiin ja uusi pääkeskus tilattiin Norelco Oy:ltä Savonlinnasta. Toinen päätavoitteista oli selvittää kompensoinnin kannattavuus ja se osoittautuikin hyvin kannattavaksi. Kompensointilaitteisto tilattiin FRAKO North Europe Oy:ltä.

Tehtaan vanha pääkeskus jätettiin paikalleen nousukeskukseksi syöttämään kiinteistön vanhempaa osaa. Tehtaan uudempaan osaan tehtiin myös valaistussuunnitelma, jonka tavoitteena on saada työpisteisiin riittävän hyvä valaistusvoimakkuus.

## 2. YRITYS

Lemminkäinen on Suomessa ja kansainvälisillä markkinoilla toimiva rakennuskonserni. Yrityksen toimialat ovat talonrakentaminen, infrarakentaminen ja talotekniikka. Lemminkäinen Rakennustuotteet Oy on vasta vuonna 2010 toimintansa aloittanut yritys. Uuden yrityksen perustamisen tavoitteena on ollut konsernirakenteen selkeyttäminen ja yhteisen Lemminkäinen -brändin käyttöönotto. Lemminkäinen Rakennustuotteet Oy:öön yhdistettiin seuraavat Lemminkäinen-konsernin rakennustuotetoimialan yhtiöt:

- Lemminkäinen Katto Oy
- Lemminkäinen Betonituote Oy (sisältäen Suomenjoen Betonituote Oy:n ja Forssan Betoni Oy:n)
- Omni-Sica Oy (päätoimiala rakennustarvikkeet ja rakennusaineet)

Lemminkäinen Rakennustuotteet Oy:n liiketoiminta-alueet ovat:

- kattoliiketoiminta: bitumiset katto- ja vedeneristystuotteet, urakointi, huolto, korjausrakentaminen
- betoniliiketoiminta: porras- ja julkisivuelementit, ympäristötuotteet betonista ja luonnonkivistä, asennusurakointi, valmisbetoni
- urheilurakentamisen liiketoiminta: urheilu- ja ympäristörakentaminen, erikoispinnoitteet.

Päämarkkina-alueita on kotimaan lisäksi koko Itämeren ympäristö. Rakentamisen erikoisosaaminen on tuonut asiakkaita eri puolilta maailmaa.

Lemminkäinen-konsernin liikevaihto vuonna 2009 oli 2,0 miljardia euroa. Kansainvälisen liiketoiminnan osuus oli runsas neljännes yhtiön koko liikevaihdosta. Konsernin palveluksessa on noin 8 600 henkilöä, joista noin 30 % työskentelee ulkomailla.

## **Työkohteen esittely**

Opinnäytetyön kohteena on Suonenjoen Sementtituote Oy:n betonielementtitehdas. Betonielementtitehdas sijaitsee Suonenjoella Lemminkäinen Rakennustuotteet Oy:n naapurissa. Lemminkäinen Rakennustuotteet Oy on ostanut yrityksen koko osakekannan, ja yritys siirtyy vuoden 2011 ensimmäisellä vuosineljänneksellä Lemminkäinen Rakennustuotteet Oy:n omistukseen. Yrityksen liikevaihdon arvioidaan olevan noin 1,5 M€. Yritys työllistää 11 henkilöä, jotka siirtyvät Lemminkäinen Rakennustuotteet Oy:n palvelukseen vanhoina työntekijöinä.

Suonenjoen Sementtituote Oy on perustettu jo vuonna 1952. Alkuvuosina valmistettiin seinä- ja kattotiiliä. Tuotanto vaihtui 1980-luvulla porraselementeiksi, jolloin aloitettiin hiotun mosaiikkibetonin valmistus. Tehdas kuuluu Suomen kolmen suurimman porraselementtivalmistajan joukkoon.

### 3. SÄHKÖLIITTYMÄN MITOITUS

Teollisuuskiinteistön liittymän mitoittamisessa tulee ottaa huomioon tulevaisuuden muutokset liittymistehossa, jotta kiinteistön liittymiskaapeleita ja pääkeskusta ei mitoiteta liian pieniksi. Tulevaisuuden suunnitelmat kiinteistössä on pyritty ottamaan selville mahdollisimman tarkasti, jotta voidaan varautua liittymistehon kasvuun tulevaisuudessa. Mitoituksessa on lisäksi käytetty 20 %:n varaa, jonka verran kiinteistön liittymän kuormituksen odotetaan kasvavan tulevaisuudessa.

#### 3.1. Liittymistehon määrittäminen

Liittymän sähkönkulutusta mitattiin yhden viikon ajan Fluke 1735 -energia-analysaattorilla, ja mittausjakson huipputeho  $P_H$  oli tiistaina helmikuun 22. päivänä vähän ennen kello kahdeksaa. Mitattu huipputeho oli 156,7 kilowattia.

Kiinteistön tämänhetkinen teoreettinen liittymisteho  $P_L$  saatiin laskemalla tehtaan kaikkien sähkölaitteiden nimellistehot yhteen. Joidenkin laitteiden teho jouduttiin arvioimaan, joten liittymistehon tuloksessa voi olla pieni virhemarginaali. Liittymisteho on laskettu taulukossa 1.

Todellisen huipputehon  $P_H$  ja teoreettisen liittymistehon  $P_L$  suhteesta voidaan laskea tasoituskerroin  $k$  kaavan 1 mukaan. Tasoituskerroin on laskettu liitteessä 1, ja sen arvoksi saatiin 0,7. Tämä tarkoittaa sitä, että kulutushuipun aikana noin 70 % koko kiinteistön sähkölaitteistosta on käytössä nimellistehollaan.

$$k = \frac{P_H}{P_L} \quad (1)$$

Uusia laitteistoja hankittaessa on hyvä tietää huipputehon suhde liittymistehoon. Näin voidaan olettaa, että uusien laitteiden vaikutus huipputehohon on noin 70 % laitteen

nimellistehosta. Teoriassa on kuitenkin mahdollista, että kaikki laitteistot ovat käytössä nimellistehollaan, joten kiinteistön liittymisteho on mitoitettava niiden mukaan.

### Taulukko 1. Tämänhetkinen liittymisteho

Laite	Teho (kW)
Nousukeskus	50
Kompressori 1	18
Nosturirata 1 (16t +16t)	25
Nosturirata 1 lämmitys	6
Nosturirata 2 (10t+10t)	15
Kääntöpöydän hydraulipumppu	15
Nosto-oven hydraulipumppu 1	2,2
Nosto-oven hydraulipumppu 2	2,2
Pistorasiakeskus 1	12
Pistorasiakeskus 2	12
Pistorasiakeskus 3	12
Pistorasiakeskus 4	12
Hallivalaistus 24x400W	9,6
Ulkovalaistus 7x400W	2,8
Nosturipihan valaistus 8x400W	3,2
Nosto-ovi 1	0,55
Nosto-ovi 2	0,55
Sirkkeli	1,43
Vannesaha	2,2
Hitsauskone	15
Pylväsporakone	0,55
Autonpaikat 10 kpl	10
Yhteensä	<b>227,3</b>

Suunnitelmissa olevat laajennukset ja laitehankinnat selvitettiin ja niiden nimellistehot on esitetty taulukossa 2.

### Taulukko 2. Tulevaisuuden laitehankinnat

Laite	Teho(kW)
Kompressori 2	21
Keskuspölynimuri	10
Autopaikat 20 kpl	20
UPS	3
Rouheasema	50

Tulevaisuuden laitehankinnat huomioon ottaen kiinteistön liittymistehoksi saadaan yhteensä 331,2 kW. Tästä liittymistehosta voidaan määrittää teoreettinen huippuvirta

johtamalla kaavaa 2. Tehokerroin  $\cos\varphi$  pyritään loistehon kompensoinnin avulla pitämään lähellä arvoa 1,00. Laskennassa käytettiin kuitenkin tehokertoimen arvoa 0,96.

$$P_L = \sqrt{3} * U_N * I_N * \cos\varphi$$

$$\Rightarrow I_N = \frac{P_L}{\sqrt{3} * U_N * \cos\varphi} \quad , \quad (2)$$

missä  $U_N$  on pääjännite

$I_N$  on liittymän teoreettinen huippuvirta

$\cos\varphi$  on tehokerroin

Liittymän teoreettinen huippuvirta on laskettu liitteessä 1 ja se on noin 498 ampeeria, joten liittymän pääsulakkeiksi valittiin 500 ampeerin kahvasulakkeet. Todellisuudessa huipputeho on tasoituskertoimen mukaan noin 70 % teoreettisesta liittymistehosta.

Oletetaan, että kiinteistön liittymää kuormitetaan todellisella huipputeholla  $P_{LTOD}$ , joka on noin 232 kilowattia, mutta jostain syystä kiinteistön kompensointilaitteisto ei ole toiminnassa. Liittymän huippuvirta olisi tällöin mittausjaksolla havaitun heikomman tehokertoimen ( $\cos\varphi = 0,72$ . Kuva 8.) mukaan enintään 465 ampeeria. Kiinteistön pääsulakkeet kestävät, vaikka kompensointiparisto ei olisikaan käytössä. Liitteestä 3 kuitenkin huomataan, että kompensoimalla loisteho saadaan 25 % nykyistä pienempi kuormitusvirta.

### 3.2. Syöttökaapelin mitoitus

Kiinteistön liittymiskaapeleita mitoittaessa on huomioitu se, että kiinteistön liittymisteho tulee vielä tulevaisuudessa nousemaan. Syöttökaapelit mitoitetaan kestämään noin 20 %:n tehonkasvu. Liittymän teoreettinen huippuvirta kahdenkymmenen prosentin laajennusvaralla on laskettu liitteessä 1 ja se on 597,6 ampeeria. Syöttökaapeleiden nimellisvirran  $I_{NK}$  tulisi olla suurempi kuin liittymän teoreettisen huippuvirran  $I_{N+20\%}$ .

Syöttökaapelina käytetään AXMK -tyypin alumiinivoimakaapelia, joka on PEX -eristeinen. Syöttökaapelin mitoituksen perustana käytetään liittymän huippuvirtaa lisättynä 20 %:n laajennusvaralla, joka on noin 600 ampeeria.

Syöttökaapeliksi valittiin rinnansyöttönä AXMK 4x300mm<sup>2</sup>. Kaapelin kuormitettavuus maa-asennuksessa standardin SFS 6000 taulukon A.52-3 mukaan on 430 ampeeria. Rinnansyöttönä kaapeleiden kokonaiskuormitus on näin 860 ampeeria.

Syöttökaapelit tullaan asentamaan maahan koko matkaltaan muuntajalta pääkeskukselle, joten asennuksen referenssiasennustapa standardin SFS 6000 mukaan on asennustapa D. Syöttö tullaan toteuttamaan kahden kaapelin rinnansyöttönä, joten ryhmästä johtuva korjauskerroin k saadaan standardin SFS 6000 taulukosta A.52-18. Kahden vierekkäisen kolmijohdinkaapelin korjauskerroin on 0,85, kun kaapelit on asennettu 70 mm etäisyydelle toisistaan.

Asennusympäristöstä johtuva korjauskerroin on 1, sillä maaperän lämpötila on 15 °C ja lämpöresistiivisyys 1,0 Km/W. Nämä arvot vastaavat Etelä-Suomessa heinä-elokuussa 0,7 metrin syvyydessä vallitsevia arvoja.

Syöttökaapeleiden kuormitettavuus heikkenee korjauskertoimen k mukaan. Syöttökaapeleiden kuormitettavuus kerrotaan korjauskertoimella k, jotta saadaan kaapeleiden maksimikuormitettavuus.

Syöttökaapeleiden kuormitettavuus korjauskerroin huomioon ottaen on 731 ampeeria. Syöttöjohtimia suojaavat 630 ampeerin gG -kahvasulakkeet vaativat johtimiltaan minimissään 695 ampeerin kuormitettavuuden, joten aluksi suunniteltujen AXMK 4x240mm<sup>2</sup> alumiinivoimakaapeleiden 637 ampeerin kuormitettavuus ei ollut riittävä ja kaapelit jouduttiin vaihtamaan kokoa suuremmiksi.

### 3.2.1. Jännitteenalenema

Sähköasennusstandardissa SFS 6000 suositellaan, ettei jännitteenalenema saisi olla kiinteistön liittymiskohdan ja sähkölaitteen välillä suurempi kuin 4 % sähkölaitteiston nimellisjännitteestä.

Seuraavaksi selvitetään, kuinka paljon jännite alenee tehdashallin kauimmaisessa yksivaiheisessa kulutuspiisteessä, kun sitä syötetään 1,5 neliömillimetrin kuparikaapelilla ja sen tarvitsema virta on 10 ampeeria.

Porraselementtitehtaan syöttökaapelin pituus on 55 metriä. Rinnansyötettynä kaapeleiden yhteispituus on 110 metriä, ja pääkeskukselta kaapelireittejä pitkin matkaa hallin kauimpaaseen kulutuspiisteeseen on 90 metriä. Johtimien resistanssit ja reaktanssit laskentaa varten saadaan taulukosta 3.

**Taulukko 3. Johtimen ominaisresistanssit ja -reaktanssit 20 °C:n lämpötilassa /9/**

Johtimen poikkipinta A/mm <sup>2</sup>	Kupari		Alumiini	
	Resistanssi r	Reaktanssi x	Resistanssi r	Reaktanssi x
4 x 1,5	11,800	0,115		
4 x 2,5	7,070	0,110		
4 x 4	4,420	0,107		
4 x 6	2,950	0,100		
4 x 10	1,810	0,109		
4 x 16	1,140	0,090	1,870	0,090
4 x 25	0,720	0,086	1,200	0,086
4 x 35	0,530	0,083	0,880	0,083
4 x 50	0,390	0,083	0,640	0,083
4 x 70	0,270	0,082	0,440	0,082
4 x 95	0,200	0,082	0,320	0,082
4 x 120	0,160	0,080	0,250	0,080
4 x 150	0,130	0,080	0,210	0,080
4 x 185	0,100	0,080	0,170	0,080
4 x 240	0,080	0,079	0,130	0,079
4 x 300	0,060	0,079	0,110	0,079



Jännitteenalenema saadaan laskettua näiden johdintietojen mukaisesti käyttäen kaavoja 3 ja 4.

Yksivaiheisella vaihtojännitteellä

$$U_{hv} = I * 2 * l * (r * \cos \varphi \pm x * \sin \varphi) \quad (3)$$

Kolmivaiheisella vaihtojännitteellä

$$U_{hv} = I * l * \sqrt{3} * (r_v * \cos \varphi \pm x_v * \sin \varphi), \quad (4)$$

missä  $U_{hv}$  on jännitehäviö  
 $I$  on kuormitusvirta  
 $l$  on johtimen pituus  
 $r_v$  on johtimen resistanssi  
 $x_v$  on johtimen reaktanssi /9/

Jännitehäviö muuntajalta pääkeskukseen on laskettu liitteessä 1 käyttäen kaavaa 4. Kuormitusvirtana käytetään koko kiinteistön kuormitusvirtaa  $I_{N+20\%}$ , johon on lisätty kuormituksen 20 % kasvunvara. Jännitehäviöprosentti muuntajan ja pääkeskuksen välillä on 1,82 %, eikä se vaikuta kaapelivalintaan.

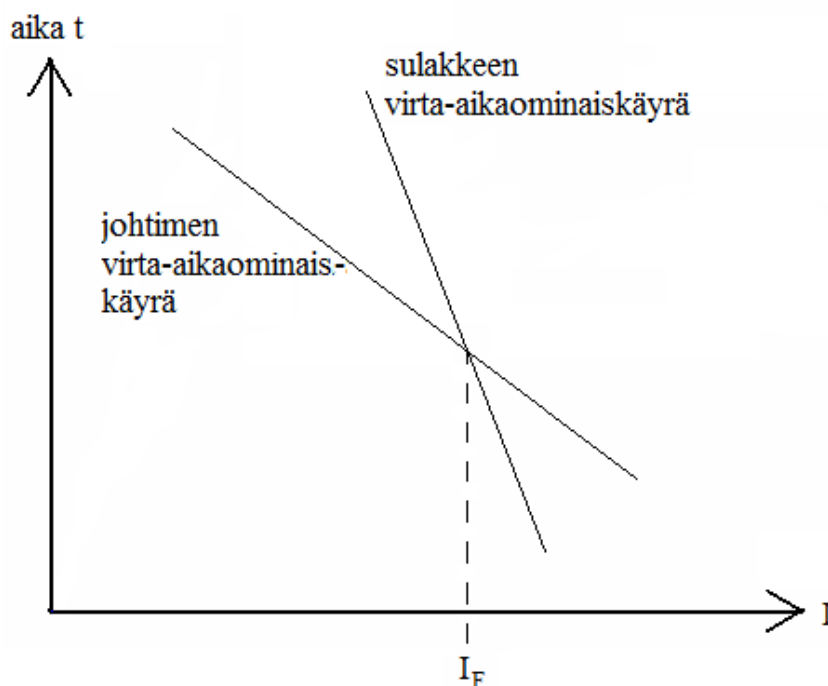
Jännitteenalenema pääkeskukselta kauimmaiseen yksivaiheiseen kulutuspiisteeseen on laskettu käyttäen kaavaa 3. Liitteessä 1 on laskettu jännitteenalenema vertaillen kahta eri kaapelia. Käytettäessä 1,5 mm<sup>2</sup>:n kuparista asennuskaapelia jännitteenalenemaksi muodostui 8,9 %. Käytettäessä 2,5 mm<sup>2</sup>:n kaapelia jännitteenalenema laski 5,3 %:iin, joka olisi jo paljon lähempänä suositeltua arvoa. Esimerkistä huomataan, että kaukana syöttöpisteestä olevan kulutuspiisteen kaapelin poikkipinnan määrää jännitteenalenema eikä kuormitettavuus.

### 3.2.2. Oikosulkukestoisuus

Oikosulku on nopea ilmiö, joka kestää enintään muutamia sekunteja. Lyhytkestoisessa oikosulussa kaikki syntyvä lämpö jää johtimeen, ja se voi vaurioittaa johdinta tai johdineristeitä. Tästä syystä oikosulku on kyettävä katkaisemaan mahdollisimman nopeasti.

Oikosulkusuojat on valittava siten, että ne suojaavat johdinta liialliselta termisiltä rasituksilta. Yksinkertaisin tapa tarkistaa johtimien termisen oikosulkukestoisuus on tarkastella kaapelin ja kaapelia suojaavan suojalaitteen virta-aikaominaiskäyriä. Kaapelia suojaavan sulakkeen virta-aikaominaiskäyrän on sijaittava kokonaan johtimen virta-aikaominaiskäyrän vasemmalla puolella, jotta johdin on termisesti oikosulkukestoinen kaikilla odotettavissa olevilla oikosulkuvirran arvoilla.

Kuvan 1 tapauksessa sulake suojaa johtoa sellaisilta oikosulkuvirroilta, joiden suuruus on vähintään  $I_F$ . Johto on luonnollisesti suojattava myös  $I_F$ :ää pienemmiltä oikosulkuvirroilta, joita syntyy esimerkiksi vikaimpedanssin kautta tapahtuvassa oikosulussa. Tällainen tilanne vastaa ylikuormitusta, ja suojaus on toteutettavissa ylikuormitussuojan avulla. /7/



Kuva 1. Sulake johtimen oikosulkusuojana /9/

Syöttökaapeleiden termisen oikosulkukestoisuuden voi tarkistaa myös laskemalla. Porraselementtitehtaan pääkeskusta rinnan syöttävien AXMK 4x300mm<sup>2</sup> -alumiinivoimakaapelien valmistaja ilmoittaa suurimman sallitun termisen yhden sekunnin oikosulkuvirran arvon, joka on 28,3 kiloampeeria. Pääkeskuksen suurin oikosulkuvirta on laskettu liitteessä 4, ja se on 14,75 kiloampeeria. Näiden tietojen pohjalta voidaan laskea oikosulun maksimikesto-aika (kaava 5), minkä oikosulkusuojauksen tulee toimia, jotta kaapelit säilyvät vahingoittumattomina.

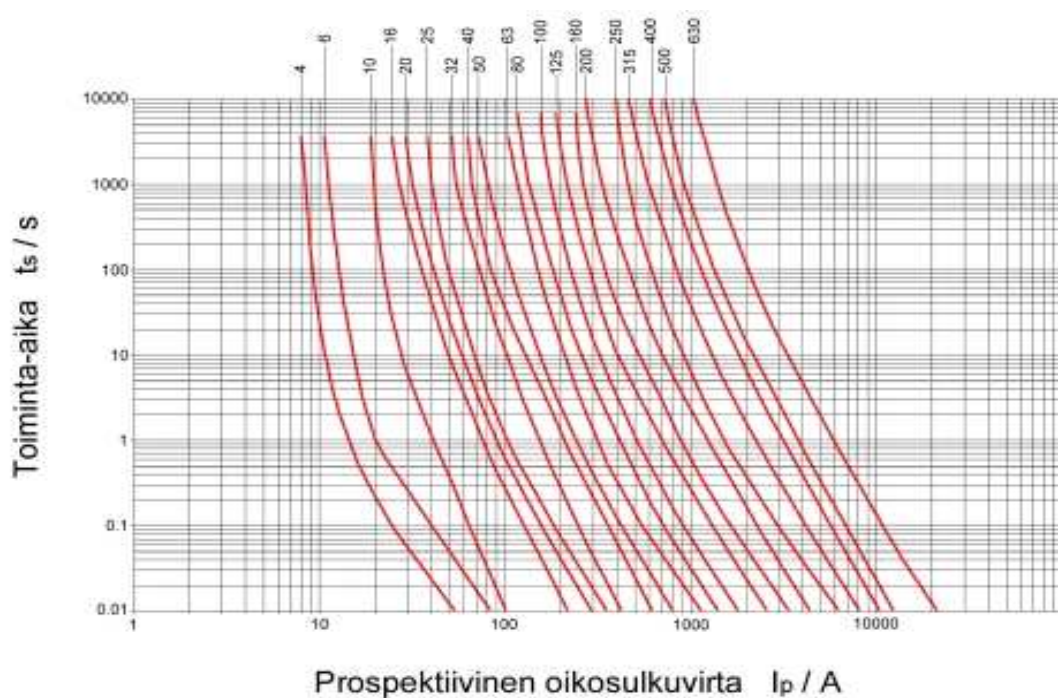
$$t = \left( \frac{I_{1s}}{I_k''^3} \right)^2, \quad (5)$$

missä  $t$  on oikosulun maksimikesto-aika

$I_{1s}$  on kaapelivalmistajan ilmoittama suurin terminen yhden sekunnin oikosulkuvirran arvo

$I_k''^3$  on kolmivaiheisen oikosulkuvirran arvo

Oikosulun maksimikesto-aika syöttökaapeleille on siis 3,68 sekuntia. Kuvasta 2 nähdään, että syöttökaapeleita suojaavien 630 ampeerin sulakkeiden toiminta-aika 14,75 kiloampeerin virralla alle 0,01 sekuntia, joten kaapelit ovat termisesti oikosulkukestoisia.



**Kuva 2. OFAA -kahvasulakkeiden toiminta-ajat**

## 4. PIENJÄNNITEVERKON SUOJAUS

Pienjänniteverkon suojauksen tärkeimpänä tehtävänä on henkilöturvallisuuden varmistaminen. Sähkölaitteet ja laitteistot on suunniteltava ja rakennettava siten, ettei niistä aiheudu kenenkään hengelle, terveydelle tai omaisuudelle vaaraa. Henkilösuojaus toteutetaan yleensä koskettamiselta suojaavaa eristystä tai kotelointia käyttäen, jollei virran suuruutta piirissä ole rajoitettu vaarattoman pieneksi. Sähkölaitteiston ja johtimien suojaus toteutetaan ylivirtasuojauksella.

### 4.1. Ylivirtasuojaus

Ylivirtasuojaus koostuu kahdesta osa-alueesta, ylikuormitussuojauksesta ja oikosulkusuojauksesta. Useimmiten sama suojalaite toimii sekä ylikuormitussuojana sekä oikosulkusuojana. Tällaisia suojalaitteita ovat esimerkiksi johdonsuojakatkaisija, gG - tyyppin tulppasulake tai suojarele. Moottorien ylikuormitussuojaus on toteutettu yleensä kahdella erillisellä suojalaitteella, sulakkeella ja lämpöreleellä tai sulakkeettomasti.

#### 4.1.1. Ylikuormitussuojaus

Jokainen virtapiiri on varustettava ylikuormitussuojalla siten, että ylikuormitusvirta katkaistaan ennen kuin lämpötila nousee niin, että eristys, jatkokset, liitokset tai johtimien ympäristö vahingoittuvat.

Ylikuormitussuojaa ei kuitenkaan vaadita:

- Johdossa, joka sijaitsee muutoskohdan kuormituspuolella ja syöttöpuolen suojalaite suojaaa johdon tehokkaasti ylikuormitukselta
- johdossa, joka ei todennäköisesti ylikuormitu, on oikosulkukestoinen, eikä sitä ole haaroitettu eikä siinä ole pistorasioita
- televiestintään, ohjaukseen, merkinantoon ja muihin vastaaviin asennuksiin
- jakeluverkoissa, missä kaapeleiden ylikuormitus ei aiheuta vaaraa. /5/

Ylikuormitussuojana käytetään yleensä sulakkeita, johdonsuojakatkaisijoita tai katkaisijoita, jotka katkaisevat ylikuormitetun johdon irti syötöstä. Joissakin tapauksissa, esimerkiksi lääkintätiloissa, laukaisevan ylikuormituksen sijaista voidaan käyttää ylikuormituksen ilmaisevaa hälyttävää suojausta. /7/

Ylikuormitussuojauksen mitoituksessa tulee ottaa huomioon suojalaitteen nimellisvirran lisäksi erityyppisten suojalaitteiden erilaiset toiminta-arvot.

Ylikuormitussuojaimen mitoitus on yksinkertaista, jos käytetään standardin SFS-EN 60 898 mukaisia B-, C- ja D-tyypin johdonsuojakatkaisijoita, joiden terminen toimintarajavirta on 1,45 kertaa suojalaitteen nimellisvirta. Tällöin ylikuormitussuoja voidaan valita suoraan johdon kuormitettavuuden perusteella. Jos johtimen kuormitettavuus on esimerkiksi 16 A, ylikuormitussuojaksi voidaan valita 16 A:n johdonsuojakatkaisija. /8/

Sulakkeilla ylempi sulamisrajavirta on suurempi kuin 1,45 kertaa sulakkeen nimellisvirta. Tällöin ylikuormitussuojaa ei voi valita suoraan johtimen kuormitettavuuden mukaan, vaan suojalaitteen nimellisvirran mitoituksessa on käytettävä kaavaa 6.

$$k * I_n \leq 1,45 * I_Z, \quad (6)$$

missä  $I_n$  on suojalaitteen nimellisvirta

$I_Z$  on johtimen jatkuva kuormitettavuus

$k$  on sulakkeen ylempään sulamisrajavirran ja sulakkeen nimellisvirran suhde.

gG -tyypin sulakkeilla  $k = 2,1$ , kun  $I_n \leq 4A$

1,9, kun  $4A < I_n < 16A$

1,6, kun  $I_n \geq 16A$

### 4.1.2. Oikosulkusuojaus

Oikosulkusuojuksella on kaksi keskeistä vaatimusta

1. Oikosulkusuojan on pystyttävä katkaisemaan suurin piirissä esiintyvä oikosulkuvirta.
2. Poiskytkennän on tapahduttava ennen kuin suojalaitteen suojaamat piirit vaurioituvat.

Kyseiset vaatimukset täyttyvät, kun virtapiiri suunnitellaan standardin SFS 6000 kohdan 434.5.2 mitoituskaavan (kaava 7) mukaisesti. Tällöin terminen rasitus oikosulun aikana ei saa ylittää suojalaitteen läpi päästämää energiaa. Käytännössä tämä voidaan usein varmistaa valmistajien antamien käyrästöjen ja taulukoiden avulla. /8/

$$t_{\max} = \left( k * \frac{A}{I} \right)^2, \quad (7)$$

missä  $t_{\max}$  on oikosulun maksimikesto aika sekunteina

A on johtimen poikkipinta neliömillimetreinä

I on todellinen oikosulkuvirta tehollisarvona ampeereina

k on kerroin, joka ottaa huomioon johdinmateriaalin resistiivisyyden, lämpötilakertoimen ja lämmönvarauskyvyn sekä sopivat alku- ja loppulämpötilat. Vaihejohtimen k-arvot on esitetty taulukossa 4.

Kaavaa voidaan käyttää ainoastaan enintään 5 sekuntia kestäville oikosulutilanteille. Kaavan käyttö perustuu siihen, että oikosulun kehittämä lämpö jää kokonaisuudessaan kaapeliin ja lämmittää sitä. Oikosulun kestäessä kauemmin kuin 5 sekuntia alkaa kaapeli luovuttaa lämpöä ympäristöön, jolloin laskeminen on haastavampaa.

**Taulukko 4. Kertoimen k-arvot vaihejohtimille**

	Johtimen eristys					
	PVC ≤ 300 mm <sup>2</sup>	PVC > 300 mm <sup>2</sup>	EPR / PEX	Kumi 60 °C	Mineraali PVC:llä pääl- lystetty	Paljas
Alkulämpötila °C	70	70	90	60	70	105
Loppulämpötila °C	160	140	250	200	160	250
Johtimen materiaali						
Kupari	115	103	143	141	115	135
Alumiini	75	68	94	93		
Tinalla juotetut kupari- johtimien liitokset	115					

Yksi oikosulkusuoja voi suojata useita rinnankytkettyjä johtimia oikosululta, jos yksittäinen oikosulkusuojalaite toimii silloinkin, kun oikosulku syntyy yhden johtimen vaikeimmassa paikassa. Oikosulkuvirran jakautumista eri johtimien välille on tarkasteltava huolellisesti, ja on otettava huomioon, että oikosulkukohtaan voi tulla virtaa rinnankytketyn johtimen molemmista päistä. /7/

Jos yksi oikosulkusuoja ei toimi tehokkaasti kahden rinnankytketyn johtimen suojana, tulee molempien johtimien alkuun asentaa oikosulkusuojat.

## 4.2. Moottorilähdön suojaus

Moottorilähdön suojaus voidaan toteuttaa joka sulakkeellisesti tai sulakkeettomasti. Moottorilähtöjen yksinkertaiseen mitoittamiseen on laadittu erilaisia kojevalintataulukoita. Kojevalintataulukosta voidaan helposti valita moottorilähtöön juuri oikeat komponentit moottorin nimellistehon mukaan. Taulukon komponentit määräytyvät siten, että lähtöön voidaan tulevaisuudessa vaihtaa seuraavaa kokoa isompi standardikokoinen moottori vaihtamatta lähdön komponentteja.

### **4.2.1. Sulakkeellinen moottorilähtö**

Sulakkeellisen moottorilähdön komponentit ovat sulakkeet tai kytkinvaroke, kontaktori ja lämpörele. Valitsemalla komponentit oikein moottori voidaan suojata ylikuormitukselta pienjännitteellä 630 ampeeriin asti. Sulakkeellisessa moottorilähdössä sulakkeet huolehtivat oikosulkusuojauksesta ja lämpörele ylikuormitussuojauksesta.

Sulakkeellisen moottorilähdön etuna on se, että sulakkeiden oikosulkuvirtaa rajoittava ominaisuus mahdollistaa kontaktorin ja lämpöreleen mitoituksen maksimioikosulkuvirtaa pienemmäksi. Lisäksi sulakkeellinen lähtö on sulakkeetonta lähtöä edullisempi.

Sulakkeiden toiminta-ajat eivät ole kovin tarkkoja johtuen valmistusteknisistä syistä. Valmistajan antamia laukaisukäyriä voidaan tulkita keskiarvoiksi. Lisäksi sulakkeiden toimintaan vaikuttavat ympäristön lämpötila ja moottorilähdön historia. Jos sulakkeet ovat lämmenneet jossain vaiheessa lähelle sulamispistettään, on hyvin todennäköistä, että niiden toiminta-aika poikkeaa valmistajan ilmoittamasta ajasta.

### **4.2.2. Sulakkeeton moottorilähtö**

Sulakkeettomassa moottorilähdössä sulakkeet on korvattu moottorinsuojakatkaisijalla. Katkaisijan etuna on yksi- tai kaksivaiheisessa oikosulussa kolmivaiheinen laukaisu. Lisäksi sulakkeen vaihtotarve poistuu, sillä katkaisijan toimittua se voidaan virittää toimintakuntoon uudelleen. Oikosulutilanteissa katkaisijan toiminta-aika on nopea ja tarkka. Tämä lisää suojauksen luotettavuutta ja turvallisuutta.

Katkaisijavalinnassa on huomioitava selektiivisyys ehdot, katkaisukyvyyn riittävyys ja katkaisijan läpäisemän virran huippuarvo.



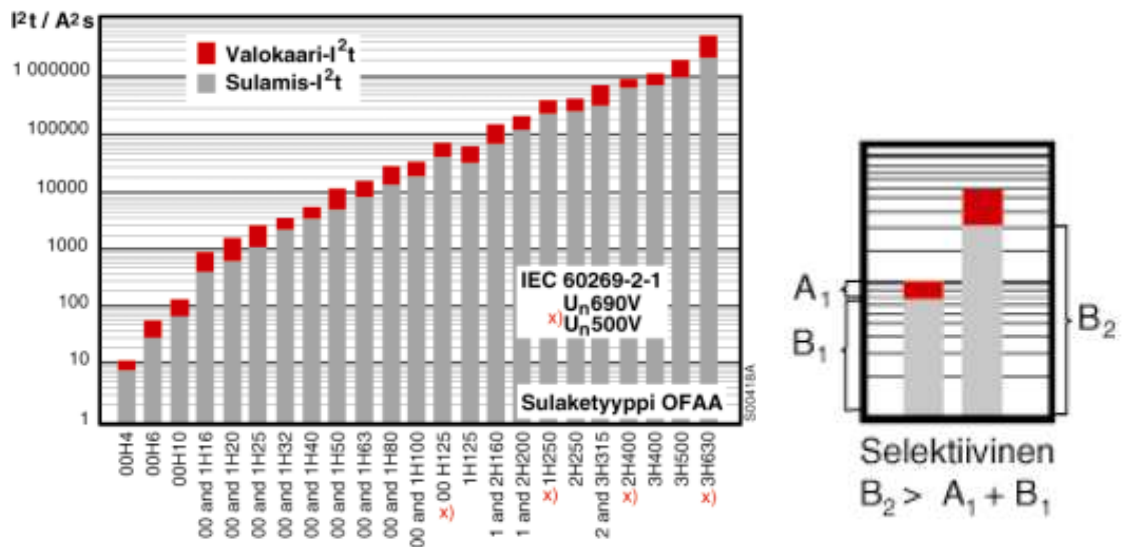
### 4.3. Selektiivisyys

Suojalaitteiden selektiivisyydellä tarkoitetaan sitä, että suojalaite toimii ainoastaan sen varsinaisella suojausalueella sattuvissa ylikuormitus- tai oikosulkuilanteissa. Suojalaitteiden selektiivisellä toiminnalla käyttökeskeytysalue jää mahdollisimman pieneksi ja aiheuttaa näin mahdollisimman vähän häiriötä. Täydellisen selektiivisyyden saavuttaminen ei ole aina tarpeen ja sen toteuttaminen voi johtaa kohtuuttomaan ylimitoitukseen. /7/

Selektiivisyys voidaan tarkistaa vertailemalla suojalaitteiden ominaiskäyriä. Selektiivisyys saavutetaan, jos jälkimmäisen suojalaitteen ominaiskäyrä on edellisen suojalaitteen ominaiskäyrän yläpuolella, eivätkä ominaiskäyrät leikkaa toisiaan millään odotettavissa olevan ylivirran arvoilla. Käyrien leikkauspistettä kutsutaan selektiivisyysrajavirraksi. Ominaiskäyriä vertaillessa tulee käyttää jälkimmäisen suojalaitteen ylintä toimintakäyrää ja edellisen suojalaitteen alinta toimintakäyrää. /7/

Seuraavassa tarkastetaan, ovatko tehtaan syöttökaapelia suojaavat 630 ampeerin sulakkeet selektiivisiä pääkeskusta suojaavien 500 ampeerin pääsulakkeiden kanssa, ja ovatko nousujohdinta suojaavat 160 ampeerin sulakkeet selektiivisiä nousukeskusta suojaavien 125 ampeerin sulakkeiden kanssa. Kaikki suojat ovat OFAA – kahvasulakkeita (gG), joiden  $I^2t$ -arvot on esitetty kuvassa 3.

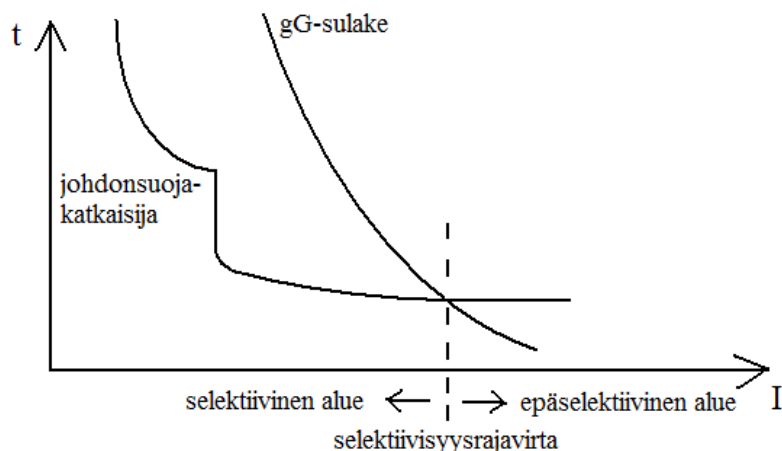
Sulakkeiden ollessa selektiivisiä on pienemmän sulakkeen kokonais-  $I^2t$  -arvon oltava pienempi kuin suuremman sulakkeen sulamis-  $I^2t$  -arvo.



Kuva 3 OFAA -kahvasulakkeiden (gG)  $I^2t$  -arvot ja selektiivisyys /1/

Kuvasta huomataan, että kaikki suojat ovat selektiivisiä toistensa kanssa.

Käytettäessä erityyppisiä suojalaitteita voi syntyä ongelmia selektiivisyyden kanssa. Esimerkiksi kun käytetään peräkkäisinä suojina sulaketta ja johdonsuojakatkaisijaa, syntyy epäselektiivisyystilanne. Johdonsuojakatkaisija laukeaa pienillä ylivirroilla termisesti ja suurilla magneettisesti. Magneettinen laukaisu toimii 10 millisekunnissa, eikä oikosulkuvirran kasvu nopeuta suojan toimintaa, toisin kuin tavallisilla sulakkeilla. Tästä syystä tiettyä rajaa suuremmilla ylivirroilla suojat toimivat epäselektiivisesti. Kuvassa 4 on esitetty johdonsuojakatkaisijan ja gG -sulakkeen selektiivisyys./7/



Kuva 4. Johdonsuojakatkaisijan ja gG -sulakkeen selektiivisyys /9/

Normaalin kahvasulakkeen ja johdonsuojakatkaisijoiden epäselektiivisyyden takia joissain tilanteissa joudutaan käyttämään etusulaketta. Johdonsuojakatkaisijoiden etusulakkeena käytetään kahvasulaketta, sillä oikosulkutilanteessa kahvasulakkeella on suurempi katkaisukyky kuin johdonsuojakatkaisijalla. Sähkökeskuksiin otetaan yleensä isompi kytkinvaroke etukojeeksi syöttämään kaikkia johdonsuojakatkaisijoita. Selektiivisyys saavutetaan, kun johdonsuojakatkaisija toimii kaikilla odotettavissa olevilla vikavirroilla ennen kytkinvaroketta.

#### 4.4. Pienjänniteverkon maadoitus

Sähköturvallisuuden kannalta maadoitusten pääasiallinen tehtävä on estää liian suurten kosketus- ja askeljännitteiden muodostuminen vikatapauksissa. Kosketusjännite maata vastaan on suoraan verrannollinen vikavirran suuruuteen ja maadoitusresistanssin arvoon. Tämä on esitetty kaavassa 8. /2/

$$(U_k = I_v * R_m), \quad (8)$$

missä  $U_k$  on kosketusjännite  
 $I_k$  on oikosulkuvirta vikapaikassa  
 $R_m$  on maadoitusresistanssi

Kaikki sähköä johtavat rakenteet on kytkettävä samaan potentiaaliin. Potentiaalintasaus vaaditaan kaikissa rakennuksissa, ja se on keskeinen osa sähkölaitteiston suojausta. Jos potentiaalintasaus on maadoitettu, se on osa maadoitusjärjestelmää. Maadoitettu potentiaalintasauskisko liitetään mahdollisimman pienen maadoitusresistanssin omaavaan maadoituselektrodiin. Tällä tavalla vikavirran arvo voidaan minimoida.

Potentiaalintasaus voi olla myös maadoittamaton. Maadoittamatonta potentiaalintasausta käytetään esimerkiksi sähköisesti erotetussa laitteistossa yhdistämään eri laitteiden jännitteelle alttiit osat toisiinsa.

Maadoituselektrodin tehtävä on tasoittaa maan ja rakennuksessa olevien sähköä johtavien osien välinen potentiaaliero. Maadoitusjärjestelmän rakentaminen aloitetaan jo kiinteistön

perustuksen kaivuun yhteydessä. Yleensä maadoituselektrodi asennetaan kiinteistön perustuksiin. Jos elektrodin asennus perustuksiin ei ole mahdollista, voidaan se asentaa kulkemaan perustuksien ympärillä. /2/

Maadoituselektrodi mitoitetaan maan ominaisuuksien mukaan. Kuivaan maahan pitää asentaa enemmän kaapelia ja maadoitussauvoja kuin kosteaan maaperään, jotta maadoitusresistanssin arvo olisi mahdollisimman pieni. Maadoituselektrodin on oltava korroosiolle vastustuskykyistä materiaalia ja rakenteeltaan luotettava. /2/

Maadoituselektrodin rakenneosina käytetään tavallisesti eristämätöntä kupari- tai teräsköyttä, teräslankaa, tai maadoitussauvoja. Seuraaventyyppisiä maadoituselektrodeja voidaan myös käyttää:

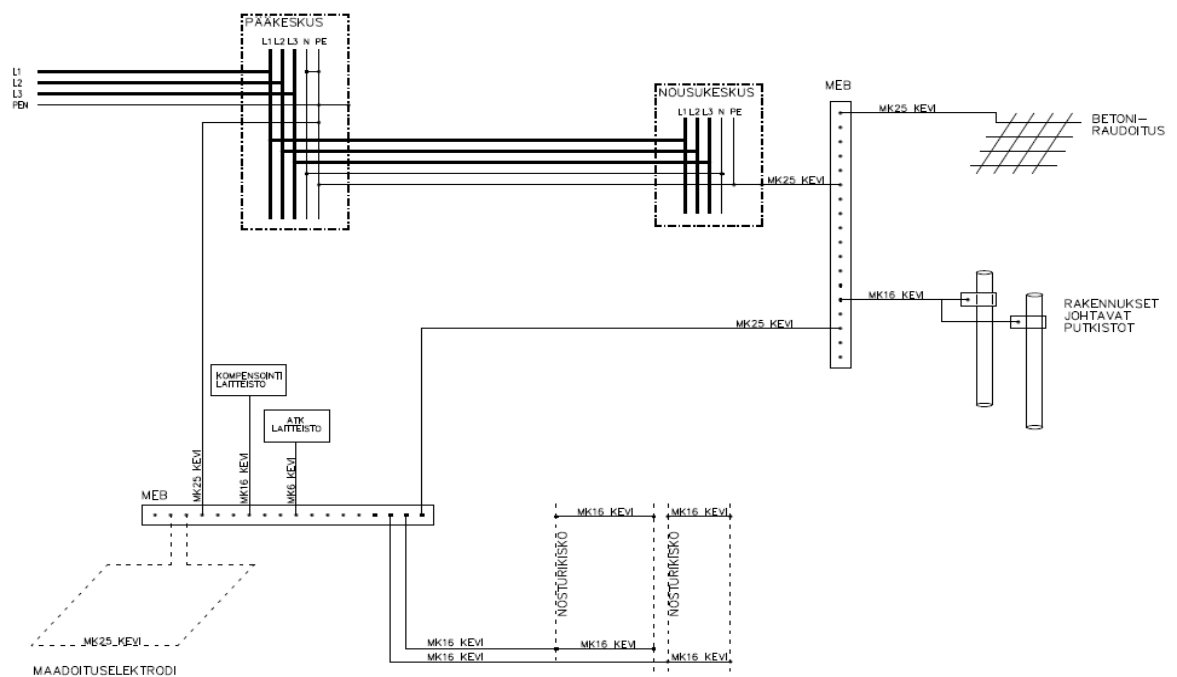
- maadoitustankoja tai putkia
- nauhoja, lankoja tai köysiä
- levyjä
- perustuksiin upotettuja maanalaisia teräsrakenteita
- hitsattuja betonirakenteen teräksiä (lukuun ottamatta esijännitettyä betonia)
- perustuksiin upotettuja maanalaisia rakenteellisia verkkoja (perustusmaadoitus)
- muita soveltuvia maanalaisia rakenteita paikallisten olosuhteiden tai vaatimusten mukaisesti. /1/

Kupariköyttä tai -lankaa käytettäessä maadoituselektrodin tulee olla vähintään 16 mm<sup>2</sup> ja terästä käytettäessä 90 mm<sup>2</sup>. Muita vaihtoehtoisia vähimmäismittoja maadoituselektronille yleisesti käytetyillä materiaaleilla korroosion ja mekaanisen lujuuden kannalta on annettu standardin SFS 6000-5-54 taulukossa 54.1.

Tehtaan liittymän sähkönsyöttö tulee keskukseen nelijohtimisena, koska jakeluverkoissa käytetään suojajohtimena yleisesti PEN-johdinta. Pääkeskuksessa PEN-johdin liitetään keskuksen PE -kiskoon, ja siitä tehdään yhdistys nollapiiriin, jolloin tehtaan sähköjakelujärjestelmästä tulee TN-S -järjestelmä.

Nolla- ja PE-johtimien erottamisen jälkeen johtimia ei saa enää kytkeä yhteen missään kohtaa sähköverkkoa. Jos nolla- ja PE-johtimet kytetään yhteen, ei kyseisen piirin vikavirtasuojaus toimi.

Kiinteistön päämaadoituskisko (MEB) asennetaan uuden pääkeskuksen läheisyyteen. Päämaadoituskisko toimii maadoitusten ja potentiaalintasauksen koontipisteenä, johon liitetään maadoituselektrodin lisäksi pääkeskuksen ja metallirakenteiden suojamaadoitukset sekä kompensointi- ja atk-laitteistojen maadoitukset. Kiinteistön vanhan pääkeskuksen potentiaalintasauskisko on yhdistetty perustusvaiheessa betoniraudoituksiin. Uuden pääkeskuksen potentiaalintasauskiskosto maadoitetaan maadoituselektrodilla, joka asennetaan maahan lenkiksi. Potentiaalintasauskiskot yhdistetään 25 neliömillimetrin kuparijohtimella. Kiinteistön maadoituskaavio on esitetty kuvassa 5.



**Kuva 5 Maadoituskaavio**

## 5. LOISTEHON KOMPENSOINTI

Tietyt sähköverkon kuormat kuluttavat pätötehon lisäksi loistehoa. Tällaisia kuormia ovat erityisesti oikosulkumoottorit ja erilaiset loistevalaisimet. Kuluttaja voi ostaa käyttämänsä loistehon sähköntoimittajalta tai poistaa sen itse kompensointilaitteistolla. Tänä päivänä yleisin kompensointiratkaisu on pää- tai ryhmäkeskukselle asennettava automatiikkaparisto, jonka säädin huolehtii siitä, että verkossa on aina tarvittava määrä kompensointia kytkettynä. Loistehon kompensoinnin avulla verkon siirtokapasiteetti kasvaa, häviöt vähenevät ja jännitteenalenema pienenee. Lisäksi säästytään loistehomaksulta.

Käämejä eli induktansseja sisältävät sähkölaitteet, kuten kuristimet, muuntajat ja sähkömoottorit kuluttavat aina pätö- ja loistehoa. Pätöteho kuluu käämilangan resistanssissa. Se on vaihtovirran teho, jolla on kyky tehdä työtä. Pätöteho lasketaan kaavalla 9.

$$P = \sqrt{3} * U * I * \cos \varphi, \quad (9)$$

missä P on pätöteho  
U on käämiin vaikuttava jännite  
I on käämin läpi kulkeva virta  
 $\cos \varphi$  on kapasitiivinen tehokerroin

Loisteho eli reaktiivinen teho kuluu käämin magneettikentän synnyttämiseen. Kun käämin läpi kulkeva vaihtovirta kasvaa huippuarvoonsa, varautuu käämin magneettikenttään energiaa. Kun vaihtovirta pienenee nollassa, virtaa magneettikenttään varautunut energia takaisin sähköverkkoon. Loisteho ei ole todellista, kunnan työtä tekevää tehoa, vaan se sykkii edestakaisin sähköverkossa. Loisteho lasketaan kaavan 10 mukaisesti./2/

$$Q = \sqrt{3} * U * I * \sin \varphi, \quad (10)$$

missä Q on loisteho  
 sin  $\varphi$  on induktiivinen tehokerroin

Päätö- ja loisteho muodostavat näennäistehon (S) Pythagoraan lausekkeen mukaisesti (kaava 11)

$$S^2 = P^2 + Q^2 \Rightarrow S = \sqrt{P^2 + Q^2}, \quad (11)$$

missä S on näennäisteho  
 P on päätöteho  
 Q on loisteho

Vaiheensiirtokulman suuruus ilmoitetaan yleisimmin päätötehon ja näennäistehon kulman kosinina eli tehokertoimena ( $\cos \varphi$ ). Se ilmoittaa päätötehon suhteen näennäistehoon (kaava 12).

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} \quad (12)$$

Kolmivaiheisen kulutuslaitteen ottama virta lasketaan kaavasta 13

$$I = \frac{\sqrt{P^2 + Q^2}}{\sqrt{3}U} \Rightarrow I = \frac{S}{\sqrt{3}U}, \quad (13)$$

missä I on kuormituksen ottama virta  
 U on sähköverkon pääjännite

Voidaan siis todeta, että kaikki sähköverkossa olevat komponentit, kuten muuntajat, kytkinlaitteet ja kaapeloinnit, on mitoittettava piirin näennäistehon mukaan. Mitä huonompi tehokerroin  $\cos \varphi$  on, sitä suuremmaksi kuormitusvirta kasvaa, ja näin verkon komponentit olisi mitoittettava suuremmiksi.

Kun tiedetään, että tehohäviöt ovat verrannollisia virran neliöön, selvittää tietyn suuruisen pätötehon siirtämisessä sitä pienemmillä häviöillä, mitä pienempi on vaiheensiirtokulma. Mikäli kulutuskojeen, kuten vaikkapa sähkömoottorin, tehokerrointa halutaan parantaa, joudutaan käyttämään kompensointikondensaattoria. Sen arvoa ei ilmoiteta kapasitanssin yksikkönä vaan kompensointitehona, kilovareina. /2/

## 5.1. Kompensointitavat ja kompensoinnin edut

Loistehon kompensointi on edullisinta tehdä mahdollisimman lähellä loistehon aiheuttajaa.

Kompensointitapoja ovat:

- Laitekohtainen kompensointi, joka toteutetaan yksittäiselle sähkölaitteelle. Laitteen välittömään läheisyyteen asennetaan tietyn kVAr -arvon suuruinen kompensointikondensaattori. Tämän asennustavan edellytyksenä on, että loisteho vaihtelee kulutuskohteessa vain vähän. Mikäli syöttökaapelit kohteeseen ovat pitkiä, saavutetaan kompensoinnilla tehonsäästöä ja kaapeleiden jännitehäviöt jäävät kohtuullisiksi. Myös kaapeleiden poikkipintaa voidaan pienentää.
- Ryhmäkompensoinnissa kompensointikondensaattorit asennetaan tietyille valaisintai moottoriryhmille niiden ryhmäkeskukseen. Näiden kuormitusten loisteho vaihtelee yleensä vähän.
- Keskitetyssä kompensoinnissa asennetaan kompensointiparisto ryhmäkeskukseen, pääkeskukseen tai suoraan muuntajan alajännitepuolen napoihin sulakkeilla suojattuina. Tällöin saadaan kompensoitua koko pienjännitejärjestelmä. Keskitetyssä kompensoinnissa käytetään kiinteitä, tietyn kVAr -arvon omaavia kondensaattoreita tai automatiikkaparistoja. /2/

Tehtaan kompensointitavaksi parhaiten soveltuu keskitetty kompensointi, sillä kiinteistön sähkölaitteistot ovat erityyppisiä, eikä yksittäisiä suuria kuormituskohteita ole. Kompensoinnin avulla koko kiinteistön sähköverkon pätötehon siirtokyky kasvaa, koska kuormitusvirran loiskomponentti pienenee. Myös jännitteenalenema pienenee, koska kuormitusvirrat pienenevät.



## 5.2. Kompensointilaitteet

Kompensointilaitteita on olemassa erityyppisiä erilaisiin käyttöolosuhteisiin. Sähkölaitteiston kompensointi voidaan toteuttaa joko paikallisesti tai keskitetysti. Isojen yksittäisten, kaukana syöttöpisteestään olevien kuormitusten kompensointiin käytetään yleensä paikallista kompensointia, jolloin kyseinen sähkölaite kuormittaa syöttöjohtimiaan vähemmän. Sähkölaitteen kuormitusvirran pienentyessä pienenee myös jännitteenalenema. Tästä syystä syöttöjohtimet voidaan mitoittaa pienemmiksi ja näin saadaan taloudellista hyötyä. Kompensointilaitteisto koostuu yksinkertaisimmillaan loistehosäätimestä ja kondensaattoriportaista. Sähköverkossa esiintyvien yliaaltovirtojen estämiseksi kompensointilaitteistoon voidaan liittää estokeloja tai yliaaltosuodattimia.

### 5.2.1. Automatiikkaparisto

Automatiikkaparisto koostuu loistehosäätimen ohjaamista kondensaattoriportaista. Ne tuottavat verkossa kulloinkin tarvittavan loistehon. Porras koostuu kondensaattoriyksiköistä, kontaktorista ja sulakkeista. Tavallisimmat porraskoot ovat 25 ja 50 kVAr:a. Tarvittaessa portaita voidaan kytkeä yhteen suuremmiksi portaiksi kontaktorien apukoskettimien kautta, joita ohjaa yhteinen loistehosäädin. /2./

### 5.2.2. Estokeloilla varustettu automatiikkaparisto

Estokeloilla varustettua automatiikkaparistoa käytetään loistehonkompensointiin yliaaltopitoisessa verkossa, mikäli yliaaltoja tuottavan kuorman osuus on yli 15 % kokonaiskuormasta. Yleisimpiä yliaaltolähteitä ovat invertterit, UPS -laitteet, DC -käytöt ja erilaiset purkauslamput. Tavallisimmat yliaaltotaajuudet ovat 150, 250, 350 ja 550 Hz.

Jokainen pariston porraskoot koostuu sarjaan kytketyistä kuristimesta ja kondensaattorista. Piirin resonanssitaajuus on viritetty alhaisimman verkossa esiintyvän yliaaltotaajuuden alapuolelle. Porraskoot on kapasitiivinen perustaajuudella 50 Hz ja tuottaa kuormien tarvitsemää loistehoa. Se on induktiivinen verkossa esiintyvillä yliaaltotaajuuksilla. niinpä se ei vahvista yliaaltoja kuten tavallinen kompensointiparisto. /2./

Estokelaparistot voivat olla joko osa keskusta tai erillisiä kaappeja, jolloin ne vaativat kaapeloinnin ja sulakelähdön keskukseen.

### **5.2.3. Yliaaltosuodattimet**

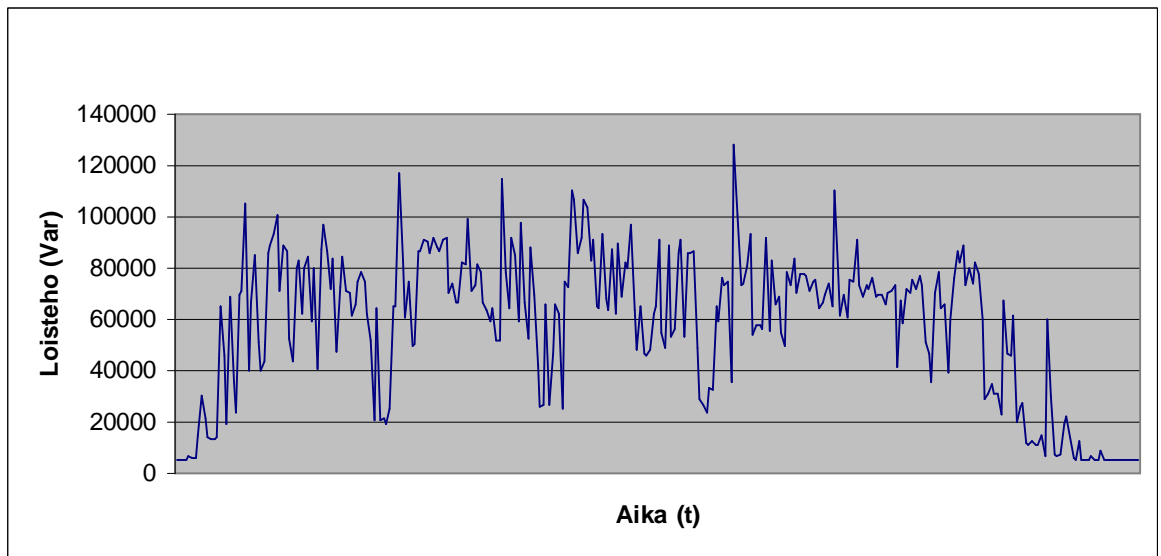
Yliaaltosuodattimien pääkomponentit ovat kondensaattoriyksiköt, kuristin, kontaktori ja lämpörele. Komponentit on asennettu kenttiin, jotka voivat olla keskuksen osina tai erillisinä suodatinkaappeina, jolloin ne on varustettava syöttökaapeilla ja sulakelähdöillä pääkeskuksessa.

Kondensaattorit mitoitetaan siten, että saavutetaan haluttu kompensointiteho. Kuristimen induktanssi valitaan siten, että suodattimen impedanssi yliaaltotaajuudella on hyvin pieni. Tällöin verkossa esiintyvä yliaaltovirta kulkee suodattimeen. /2/

Suodattimia ohjataan joko loistehonsäätimellä tai kuormilta tulevilla ohjaustiedoilla. Esimerkiksi kun taajuusmuuttajakäytöt ovat päällä, kytkeytyvät myös suodattimet päälle.

### **5.3. Loisteho yrityksessä**

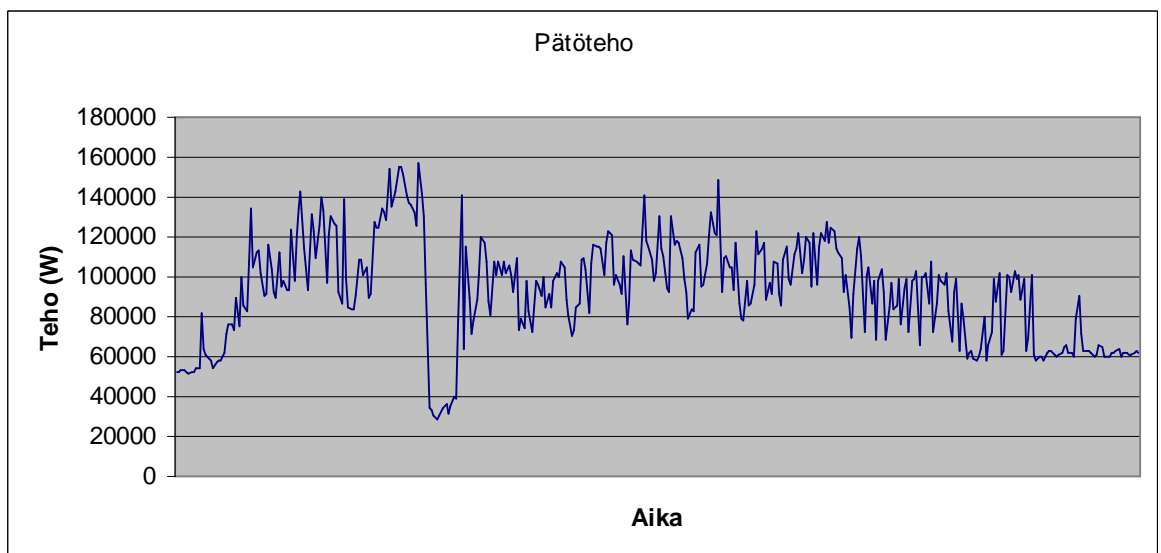
Porraselementtitehtaan sähköliittymää mitattiin yhden viikon ajan FLUKE 1735 -energia-analyysaattorilla. Alla olevassa kaaviossa on esitetty keskiviikon 23. helmikuuta loistehon kulutus vareina ajan funktiona. (Kuva 6)



**Kuva 6. Loistehon kulutus keskiviikkona 23.2.2011**

Mitatun ajanjakson suurin loistehon tuntikeskiteho  $Q_h$  oli keskiviikkona 23. helmikuuta kello 11.25–12.25, jolloin se oli 74,2 kVAR:a.

Suurin pätötehon tuntikeskiteho oli tiistaiamuna kello 06.50–7.50, juuri ennen kuin pääsulake paloi. Tuntikeskiteho  $P_h$  oli tuolloin 130 kW. Pätötehon kulutuksen vaihtelun voi nähdä kuvasta 7.



**Kuva 7. Pätötehon kulutus tiistaina 22.2.2011**

Paikallinen sähköverkkoyhtiö Savon Voima sallii 20 %:n loistehon osuuden koko kuukauden aikana mitatusta pätötehosta. Loistehomaksu on 4,78 €/kVAr/kk. Loistehomaksu määräytyy 1.11.–31.3. arkipäivisin (maanantai–lauantai) kello 7–22 välisenä aikana kuukausittain mitatun suurimman tuntikeskitehon (60 minuuttia) mukaan. Loistehomaksua laskutetaan osuudesta, joka ylittää 20 %:n ilmaisosuuden laskutettavasta pätötehosta. Loistehomaksua laskutetaan kuukausittain talvikuukausilta (1.11.–31.3.)/4/.

Loistehon ilmaisosuus on siis 20 %:n osuus kuukauden korkeimmasta pätötehon tuntikeskitehosta. Oletetaan, että kuukauden suurimmaksi tuntikeskitehoksi  $P_h$  olisi mitattu 130 kW. Tällöin ilmaisen loistehon osuus voidaan laskea kaavan 14 mukaan. Ilmaisen loistehon  $Q_i$  osuus on 26 kVAr:a ja se on laskettu liitteessä 2.

$$Q_i = 0,2 * P_h \quad (14)$$

Maksettava loistehon osuus saadaan kun suurimmasta loistehon tuntikestotehosta  $Q_h$  vähennetään loistehon ilmaisosuus  $Q_i$ . Maksettavan loistehon osuus on laskettu liitteessä 2 ja se on 48,2 kVAr:a.

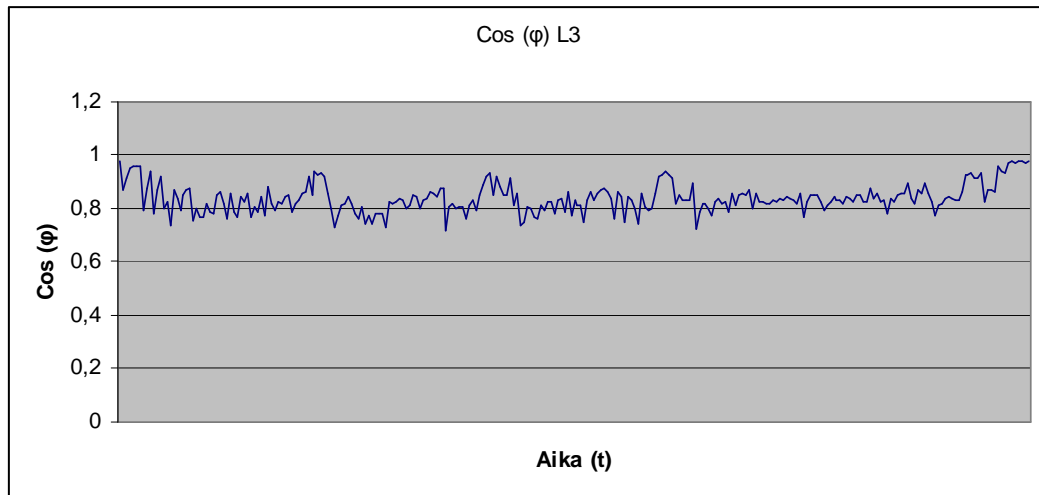
$$Q_m = Q_h - Q_i, \quad (15)$$

missä  $Q_m$  on loistehon maksettava osuus  
 $Q_h$  on loistehon suurin tuntikeskiteho  
 $Q_i$  on loistehon ilmaisosuus

Oletetaan, että marraskuusta maaliskuuhun saakka maksettavan loistehon määrä on sama. Tällöin voidaan laskea vuodessa aiheutuvat kustannukset loistehosta. Loistehosta aiheutuvat kustannukset vuodessa on laskettu liitteessä 2. Loisteho aiheuttaa yli tuhannen euron vuotuisen kustannuksen, joten kompensointipariston investointi on ehdottomasti kannattavaa, sillä kompensointiparisto on pitkäikäinen, eikä se vaadi kunnossapitotoimenpiteitä.

## 5.4. Loistehotarpeen määrittäminen

Liittymän  $\cos \varphi$ :n arvoa mitattiin viikon ajan ja kuvassa 8 on esitetty yhden työpäivän ajalta mitatut  $\cos \varphi$ :n arvot.  $\cos \varphi$  vaihtelee eri vaiheiden välillä. Heikoin  $\cos \varphi$ :n arvo on vaiheessa L3, jossa se vaihtelee 0,72:n ja 0,93:n välillä.



**Kuva 8. Vaiheen L3  $\cos \varphi$**

Tämänhetkinen  $\cos \varphi_1$ :n arvo on laskettu liitteessä 2 kaavan 16 mukaan.  $\cos \varphi_1$ :n arvoksi saatiin 0,86.

$$\cos \varphi_1 = \frac{P_h}{S_h} = \frac{P_h}{\sqrt{P_h^2 + Q_h^2}} \quad (16)$$

Tavoitteellinen  $\cos \varphi_2$  voidaan laskea kaavan 17 mukaan, kun ilmaisen loistehon määrä yrityksessä on 26 kilovaria. Tavoitteellinen  $\cos \varphi_2$ :n arvoksi saatiin 0,98.

$$\cos \varphi_2 = \frac{P_h}{S_h} = \frac{P_h}{\sqrt{P_h^2 + Q_i^2}} \quad (17)$$

Kun nykyistä tehokerrointa  $\cos \varphi_1$  halutaan parantaa arvoon  $\cos \varphi_2$ , kerrotaan pätöteho taulukon 4 kertoimella, jolloin saadaan tarvittava loisteho kilovareina.

**Taulukko 5. Loistehon määrittämisessä käytettävä kerroin /1/**

cos $\varphi_1$	cos $\varphi_2$							
	1,00	0,99	0,98	0,97	0,95	0,90	0,85	0,8
0,30	3,18	3,04	2,98	2,93	2,85	2,70	2,56	2,43
0,32	2,96	2,82	2,76	2,71	2,63	2,48	2,34	2,21
0,34	2,77	2,62	2,56	2,52	2,44	2,28	2,15	2,02
0,36	2,59	2,45	2,39	2,34	2,26	2,11	1,97	1,84
0,38	2,43	2,29	2,23	2,18	2,11	1,95	1,81	1,68
0,40	2,29	2,15	2,09	2,04	1,96	1,81	1,67	1,54
0,42	2,16	2,02	1,96	1,91	1,83	1,68	1,54	1,41
0,44	2,04	1,90	1,84	1,79	1,71	1,56	1,42	1,29
0,46	1,93	1,79	1,73	1,68	1,60	1,45	1,31	1,18
0,48	1,83	1,69	1,62	1,58	1,50	1,34	1,21	1,08
0,50	1,73	1,59	1,53	1,48	1,40	1,25	1,11	0,98
0,52	1,64	1,50	1,44	1,39	1,31	1,16	1,02	0,89
0,54	1,56	1,42	1,36	1,31	1,23	1,07	0,94	0,81
0,56	1,48	1,34	1,28	1,23	1,15	1,00	0,86	0,73
0,58	1,40	1,26	1,20	1,15	1,08	0,92	0,78	0,65
0,60	1,33	1,19	1,13	1,08	1,00	0,85	0,71	0,58
0,62	1,27	1,12	1,06	1,01	0,94	0,78	0,65	0,52
0,64	1,20	1,06	1,00	0,95	0,87	0,72	0,58	0,45
0,66	1,14	1,00	0,94	0,89	0,81	0,65	0,52	0,39
0,68	1,08	0,94	0,88	0,83	0,75	0,59	0,46	0,33
0,70	1,02	0,88	0,82	0,77	0,69	0,54	0,40	0,27
0,72	0,96	0,82	0,76	0,71	0,64	0,48	0,34	0,21
0,74	0,91	0,77	0,71	0,66	0,58	0,42	0,29	0,16
0,76	0,86	0,71	0,65	0,60	0,53	0,37	0,24	0,11
0,78	0,80	0,66	0,60	0,55	0,47	0,32	0,18	0,05
0,80	0,75	0,61	0,55	0,50	0,42	0,27	0,13	
0,82	0,70	0,56	0,49	0,45	0,37	0,21	0,08	
0,84	0,65	0,50	0,44	0,40	0,32	0,16	0,03	
0,86	0,59	0,45	0,39	0,34	0,26	0,11		
0,88	0,54	0,40	0,34	0,29	0,21	0,06		
0,90	0,48	0,34	0,28	0,23	0,16			
0,91	0,46	0,31	0,25	0,20	0,13			
0,92	0,43	0,28	0,22	0,18	0,10			
0,93	0,40	0,25	0,19	0,14	0,07			
0,94	0,36	0,22	0,16	0,11	0,03			
0,95	0,33	0,19	0,13	0,08				
0,96	0,29	0,15	0,09	0,04				
0,97	0,25	0,11	0,05					
0,98	0,20	0,06						
0,99	0,14							

Nykyisen tehokertoimen  $\cos \varphi_1$  ollessa 0,86 ja tavoitteellisen tehokertoimen  $\cos \varphi_2$  ollessa 0,98 saadaan taulukosta 4 kertoimeksi 0,39. Tarvittava loisteho lasketaan kaavalla 18.

$$Q_k = k * P_h, \quad (18)$$

missä  $Q_k$  on tarvittava kompensointiteho

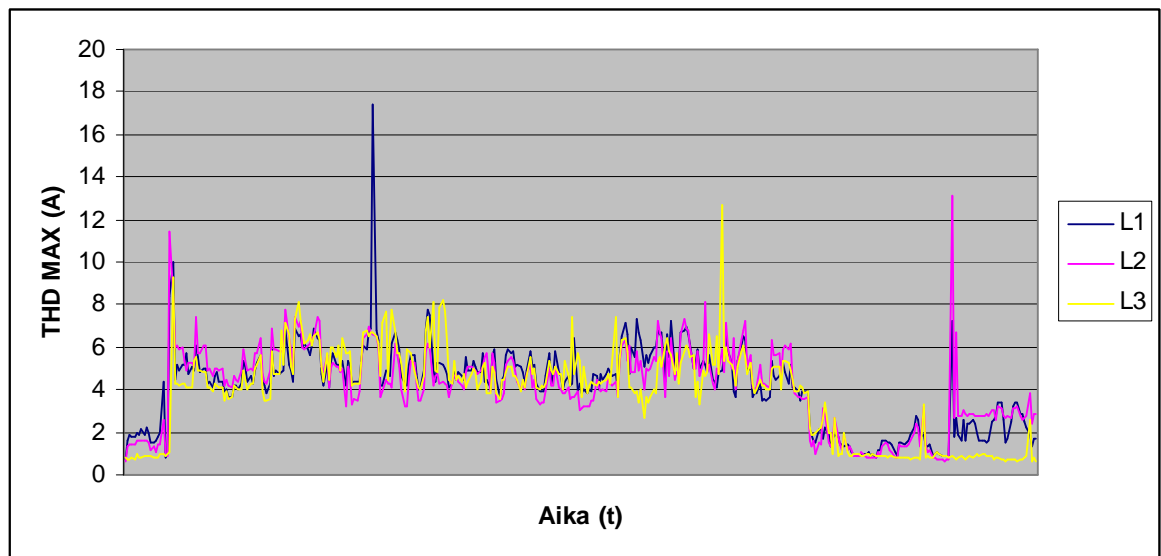
$k$  on taulukon 4 mukainen kerroin

$P_h$  on pätötehon suurin tuntikeskiteho

Tämänhetkinen loistehon tarve on laskettu liitteessä 2 ja se on noin 50 kilovaria, jotta loistehonmaksuilta säästyttäisiin.

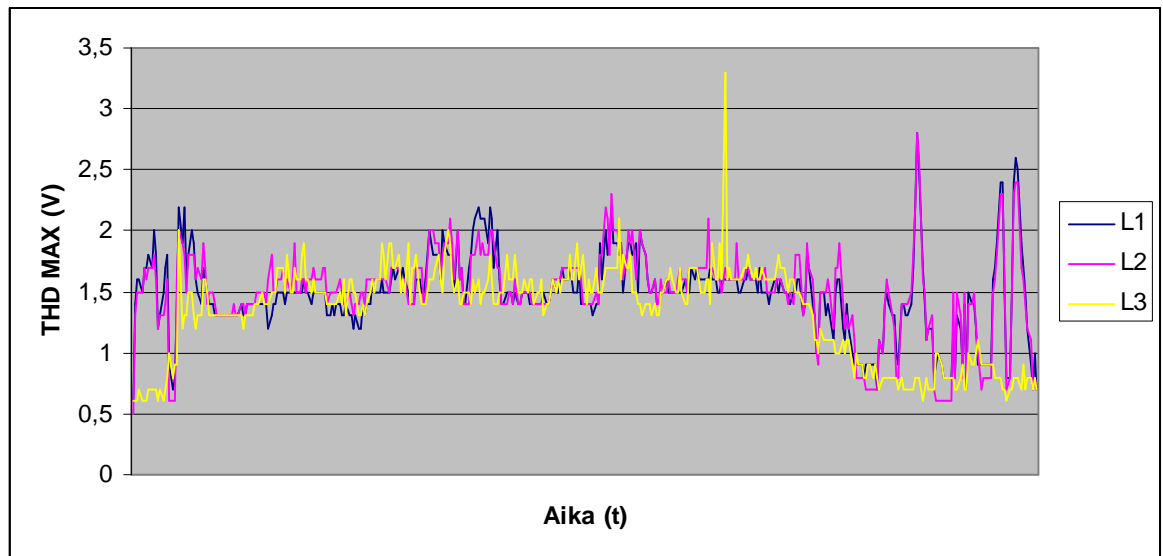
## 5.5. Kompensointipariston valinta

Kompensointipariston tyyppi valitaan verkon yliaaltopitoisuuden perusteella. Jos yliaaltoja tuottavan kuorman osuus on kokonaiskuormasta yli 15 %, valitaan estokeloilla varustettu automatiikkaparisto. Yliaaltopitoisessa verkossa ilman estokeloja olevat kondensaattorit saattavat mennä rinnakkaisresonanssiin jonkin kertaluokan yliaallon kanssa ja aiheuttaa suuria yliaaltovirtoja. Jos kompensoimattoman verkon yksittäisen 5. harmonisen yliaallon taso on  $\geq 2$  % tai 7. ja ylempien harmonisten yliaaltojen taso on  $\geq 1,5$  % on kompensointiparisto varustettava estokeloilla. Kuvasta 9 nähdään tehtaassa vaikuttaneiden särövirtojen huiput. Suurin huippu 17,4 ampeeria oli vaiheessa 1 tiistaiamuna.



**Kuva 9. Särövirrat**

Kuvasta 10 nähdään tehtaan suurimmat säröjännitteet vaiheittain. Suurin säröjännite oli vaiheessa L3 keskiviikkona iltapäivällä.

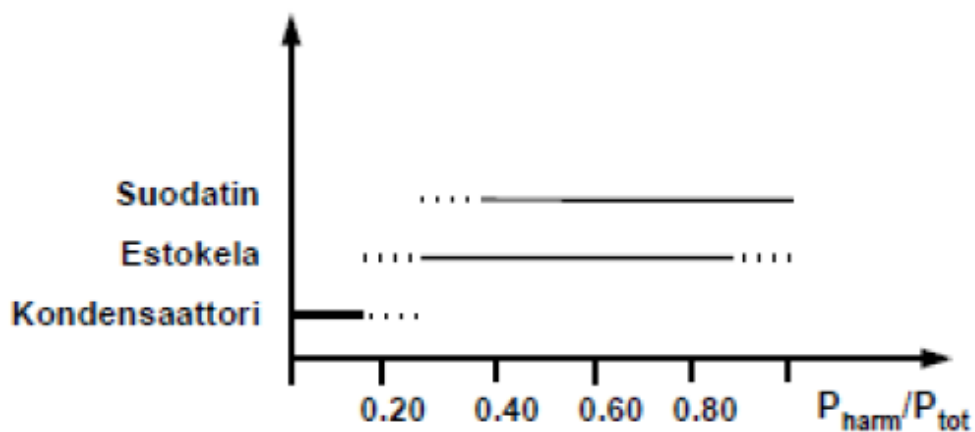


**Kuva 10. Säröjännitteet**

Säröteho vaiheittain saadaan laskettua ohmin lain mukaan, kun säröjännite kerrotaan särövirralla.

$$P_{THD\ max} = I_{THD\ max} * U_{THD\ max} * 3 = 17,4A * 3,3V * 3 = 172,26W \quad (19)$$

Kompensointipariston tyypin valintaan on olemassa kaavio (kuva 11), jonka perusteella kompensointipariston tyyppi valitaan, kun tiedetään särötehon suhde pätehoon.



**Kuva 11. Kompensointityypin valinta**



Särötehon suhde pätötehoon on:

$$\frac{P_{THD\max}}{P_h} = \frac{172,26W}{130000W} = 0,0013 \quad (20)$$

Särötehon suhde pätötehoon ollessa 0,0013 voidaan kuvasta 11. todeta, että yliaalloista ei aiheudu häiriötä kompensointiparistolle, ja kompensointilaitteeksi voidaan valita automatiikkaparisto ilman estokeloja.

Tehtaan tämänhetkinen loistehon tarve on noin 50 kilovaria, mutta tehtaaseen on tulossa tulevaisuudessa laajennuksia, joten kompensointiparisto kannattaa ylimitoitaa. Tässä tapauksessa 100 kilovarin automatiikkaparisto olisi hyvä valinta.

Loisteholtaan 100 kilovarin kondensaattorit kytketään neljään portaaseen, ja portaiden koot valittiin seuraavasti: 2 \* 12,5 kVAr + 1 \* 25 kVAr + 1 \* 50 kVAr. Pienimmän portaan ollessa 12,5 kilovaria voidaan tehtaan loistehoa säätää 12,5 kilovarin tarkkuudella.

## 5.6. Takaisinmaksuaika

Ilman loistehon kompensointia liittymästä aiheutuu vuodessa 1152 euron vuotuinen menoerä. Kompensoimalla loisteho paikallisesti vältytään kokonaan loistehomaksulta.

Kompensointipariston hintaa tiedusteltiin kahdelta eri toimittajalta, Alstom Grid:ltä (entinen Nokia Capacitors Oy) ja FRAKO:lta. Ilman estokeloja olevan seinälle asennettavan 100 kilovarin automatiikkapariston hinta vaihteli 1000 ja 1400 euron välillä. Kohteeseen valittiin kuitenkin lattialle asennettava täyskorkea kaappi, josta löytyy reilusti laajennusvaraa. Tämän kompensointipariston toimittaa FRAKO, ja kaapin hinta on 1700 euroa. Kun lisätään asennus- ja kaapelointikulut, kompensointipariston investointikustannukseksi arvioitiin 2000 euroa.

Kompensointilaitteistolle voidaan laskea takaisinmaksuaika, kun tiedetään kompensointipariston käytöstä aiheutuva hyöty, investointikustannus sekä pääomalle laskettava vuotuinen korko.

Takaisinmaksuaika  $\tau$  voidaan ratkaista kaavasta 21.

$$K_0 = T_1 * \frac{100}{p} * \left(1 - \frac{1}{\alpha^\tau}\right), \quad (21)$$

missä  $K_0$  on investointikustannus

$T_1$  on kompensointipariston käytöstä aiheutuva vuotuinen hyöty

$p$  on vuotuinen korko

Yhtälössä esiintyvä  $\alpha$  saadaan laskettua korkoprosentin  $p$  avulla kaavan 22 mukaisesti.

$$\alpha = 1 + \frac{p}{100} \quad (22)$$

Pääomalle laskettiin korkoprosentti, joka on tässä tapauksessa yleisesti käytetty 6 %. Kompensointipariston käytöstä aiheutuva vuotuinen hyöty on laskettu liitteessä 2 ja se on 1152 €. Kompensointilaitteiston arvioitu investointikustannus on 2000 €.

Takaisinmaksuaika  $\tau$  voidaan nyt laskea edellisten tietojen perusteella. Laskut on esitetty liitteessä 3. Kompensointilaitteiston takaisinmaksuajaksi  $\tau$  saatiin 1,88, joka on 1 vuosi ja 10 kuukautta. Kompensointipariston investointi on erittäin kannattavaa, sillä se maksaa itsensä takaisin jo ennen toista pitovuotta.

## 6. SÄHKÖKESKUKSET

Sähkökeskukset ovat tiettyyn tilaan asennettavia sähkön jakelu- tai haaroituspisteitä. Sähkökeskuksia käytetään teollisuudessa moottorien ohjaus- ja käynnistyslaitteiden keskittämiseen sähkötiloihin sekä kiinteistön sähkön jakeluun. Sähkökeskukset voivat jakautua pää-, nousu- ja jakokeskuksiksi. Teollisuuden pääkeskuksessa sijaitsee yleensä kiinteistön sähköenergian mittauslaitteisto sekä joitain suurimpia lähtöjä. Jos pääkeskuksesta joudutaan siirtämään energiaa pitkiä välimatkoja, on hyvin yleistä, että käytetään nousukeskusta lähempänä suuria kulutuskohteita. Lisäksi keskuksia jaetaan moottorikeskuksiin tai ryhmäkeskuksiin.

### 6.1. Sähkökeskusten yleinen rakenne

Pääkeskukset ovat yleensä vapaasti lattialle seisomaan asennettavia keskuksia. Runkopalkkien, kattojen, seinien ja asennusaluustojen yleisin materiaali on kuumasinkitty teräs. Nimellisvirraltaan pienempiä keskuksia voidaan asentaa seinälle ja niiden kotelointi on yleensä muovia.

Keskuksen arvokilvessä tulee olla seuraavat tiedot:

- valmistajan nimi tai rekisteröity tavaramerkki
- mallimerkintä tai tunnistusnumero
- valmistajan vakuutusta osoittava CE -merkki
- nimellisvirta ja -jännite, virtalaji, taajuus, oikosulkukestoisuus, kotelointiluokka, keskusstandardin numero ja sertifiointitunnus /2/

#### 6.1.1. Keskuksen kotelointi

Keskuksen koteloinnilta edellytetään aina tiettyä suojausluokkaa, joka antaa kosketusjännitesuojauksen sähköiskua vastaan. Samoin keskukselle määritellään tarkoituksenmukainen ja tilaan sopiva kotelointiluokka. Tuotantotiloihin asennettavaan keskukseseen koteloinnin tulee olla riittävä etenkin pölyä ja vettä vastaan.

Henkilösuojauksen kannalta on tärkeää, että keskusrakenteet kestävät niiden sisällä vikatilanteessa syntyvän valokaaren ja suuren paineiskun.

### **6.1.2. Ovet**

Keskuksen ovien tulee olla kenttä-, tila- tai yksikkökohtaisia. Oven salpalaitteeksi suositellaan yhdestä pisteestä ohjattavaa rakennetta. Salpalaite voi olla irrotettava tai asennettu kiinteästi kaikkiin oviin. Ovi on avattavissa vain etukojeen ollessa auki-asennossa. Lukitus voidaan ohittaa erikoistoimenpitein. /2/

### **6.1.3. Kaapelikenttä**

Keskus tullaan varustamaan erillisillä kaapelikentillä. Kaapelikenttä voi tarvittaessa olla kahdelle kojekentälle yhteinen. Kaapeloitaessa ylhäältä keskus varustetaan tarvittavilla läpiviennillä. Kaapeloitaessa alhaalta varustetaan lattia erikseen sovittaessa läpiviennillä, jolla toteutetaan tarvittava kotelointiluokka alapuoliseen kaapelitilaan nähden. Lattioilla estetään lisäksi valokaariroiskeiden leviäminen alapuoliseen kaapelitilaan /2/

Keskuksen ohjausjännitteen jakelu voidaan hoitaa joko johdottamalla tai ohjausjännitekiskostolla. Ohjausjännitejohdotus asennetaan pystysuuntaiseen johdotuskouruun, josta se viedään edelleen lähtöyksiköille.

### **6.1.4. Kiskosto**

Keskuksen pääpiirien sähkönjakelu toteutetaan yleensä virtakiskostoilla. Keskuksen kiskoston tulee sijaita siten, että kiskoliitokset voidaan mahdollisimman hyvin lämpökuvata ja jälkikiristää. Kiskomateriaali on valmistajasta riippuen joko kuparia tai alumiinia.

Keskuksen kiskosto rakennetaan paljaista osakiskoista. Kiskojen lukumäärä vaihetta kohden, niiden keskinäinen sijoittelu sekä tukieristimien paikat vaikuttavat kiskoston kuormitettavuuteen sekä termiseen ja dynaamiseen oikosulkukeestoon. Kiskoston

kuormitettavuus tulee mitoittaa tulevaisuuden tarpeet huomioon ottaen. Pääkeskuksen kiskoston tulee kestää keskuksessa tapahtuvan kolmivaiheisen oikosulun aiheuttaman termisen oikosulkuvirran maksimiarvo. Kiskoston termistä oikosulkulujuutta määriteltäessä on tunnettava

- johtimen alkulämpötila ja
- oikosulun kesto aika.

Dynaaminen oikosulkumitoitus tapahtuu yleisesti siten, että oikosulkuvirraksi valitaan kolmivaiheista oikosulkua vastaava virta, voimat taas lasketaan olettaen, että tämä virta kulkee kahdessa vierekkäisessä vaihejohtimessa. Tällä tavalla saavutetaan pieni ylimääräinen marginaali. Jos kolmivaiheinen oikosulku alkaa samanaikaisesti kaikissa vaiheissa, on suurin mahdollinen voima kahden vaiheen välillä sama kuin tilanteessa, jossa näissä vaiheissa kulkisi virta  $0,93 \times$  kolmivaiheisen virran huippuarvo. Tämä suurin voima kohdistuu keskivaiheeseen.

## **6.2. Keskusrakenteet**

Keskusrakenteita on hyvin erilaisia eri käyttötarkoituksiin. Suurivirtaiset keskukset rakennetaan aina teräslevyistä, sillä niiden on kestettävä suurien vikavirtojen aiheuttamat paineiskut. Pienempivirtaiset keskukset voidaan rakentaa myös muovista.

Monet keskusrakenteet ovat moduulimitoitettuja, joten ne voidaan koota palapelimäisesti asiakkaan tarpeiden mukaisiksi kokonaisuuksiksi. Yhteen moduuliin kootaan yleensä yhden lähdön kaikki tarvittavat komponentit. Tämä helpottaa sekä yksinkertaistaa kunnossapitoa.

### **6.2.1. Kennokeskus**

Suurivirtaiset pääkeskukset ovat yleensä kennokeskuksia. Kennokeskuksia tehdään nimellisvirraltaan aina 5000 ampeeriin asti. Teollisuudessa käytettävien kennokeskusten nimelliskäyttöjännite on laitoksen koosta ja prosessisähköistyksen laajuudesta riippuen 400 V tai 690 V. Kennokeskukset ovat teräslevyistä valmistettuja keskuksia, joita käytetään

pää-, nousu- ja alakeskuksina, moottorien ohjauskeskuksina tai näiden yhdistelminä. Ne ovat yleensä vähintään kosketussuojattuja IP21-luokkaan kuuluvia, lattialla seisovia rakenteita. Kennokeskukset ovat yleensä niin kookkaita, että ne rakennetaan kuljetusta ja asennusta varten tehtaalla muutaman metrin pituisiin kuljetusyksiköihin. Asennuspaikalla ne liitetään toisiinsa pulttiliitoksien. /2/

#### **6.2.1.1. Mekaaninen rakenne**

Kennokeskuksen kentät ovat pystysuuntaisesti rajattuja tiloja keskusrakenteessa. Ne numeroidaan aina kasvavalla numerosarjalla tai numeroiden ja kirjainten yhdistelmällä. Kentässä on yksi tai useampia kennoja, joihin on rakennettu lähtöyksiköt tai jotka ovat varatiloina laajennuksia varten. Jokaiseen kennoon kiinnitetään lähtöyksikköä osoittava tunnuskilpi. Kennojen ovissa on yhdestä pisteestä ohjattava lukkolaite ja oven koosta riippuen yksi tai useampia salpoja /2/

Lähtökennot voidaan kaapeloida kaapelikenttien kautta turvallisesti, vaikka keskuksessa olisi jännitekin. Kaapelikentissä kaapelit kiinnitetään kiskoihin kaarikiinnikkeillä. Niissä on useimmiten lähtöyksikköjen tarvitsema suoja eli PE -kisko. Keskuksen jännitesyöttö voidaan kaapeloida joko ylhäältä tai alhaaltapäin. /2/

#### **6.2.1.2. Sähköinen rakenne**

Keskuksen pääkytkin syöttää keskuksen sisällä olevia pääkiskoja (L1, L2, L3, N ja PE). Pääkiskot yhdistetään jokaisen kentän kohdalla pystysuuntaisesti kulkeviin haarakiskoihin. Yksittäisen lähtöyksikön johtimet kytketään nimellisvirrasta riippuen liitoskiskoilla tai monisäikeisillä johtimilla haarakiskoihin. Suojakisko eli PE -kisko on yleisimmin kaapelikentässä. /2/

Keskuksen apupiirien tarvitsemat ohjausjännitteet otetaan usein oman keskuksen kiskostosta ohjausjännitemuuntajan kautta. Ohjausjännitemuuntaja toimii tehokkaana suojalaitteena, sillä se pienentää oikosulkuvirtaa apupiirijännitteiden oikosuluissa. Ohjausjännitteet jaetaan eri kennoille kaapeleilla tai ohjausjännitekiskostolla. /2/

Keskuksen lähtöyksiköt voivat olla kiinteitä, ulosotettavia tai ulosvedettäviä kasettilähtöjä. Kiinteässä lähdössä on kiinteät johtoyhteydet ja ruuviliitokset. Osan lähdön yksittäisistä komponenteista voi vaihtaa työkaluilla jännitteettömänä tai erikoistapauksessa jännitetyönä. Ulosotettavien lähtöjen huoltotyö tai vaihto on mahdollista tehdä työkaluilla jännitteisenä mutta virrattomana. Johtavat yhteydet keskuksen päin on tehty koskettimin ja lähtevät johtoyhteydet riviliittimillä. Ulosvedettävien kasettilähtöjen vaihto voidaan suorittaa ilman työkaluja jännitteisenä mutta virrattomana. Kaikki johtavat yhteydet keskuksen on tehty koskettimin. /2/

### **6.2.2. Kotelokeskus**

Kotelokeskuksia käytetään yleensä pienempivirtaisissa keskuksissa. Kotelokeskukset ovat metallista tai muovista valmistettuja kosketussuojattuja jakokeskuksia, joita käytetään prosessitiloissa ala- ja ryhmäkeskuksina.

Keskus kiinnitetään yleensä seinäpinnoille tai erilliseen telineeseen. Kotelokeskuksen nimellisjännite on useimmiten 400 V ja sen nimellisvirta rajoittuu yleensä 630 ampeeriin. Kotelokeskukset ovat moduulimitoitettuja, joten haluttu keskuskokonaisuus voidaan koota palapelimäisesti. Vierekkäisten koteloiden väliset sähköiset kytkennät tehdään koteloiden välisten aukkojen kautta. /2/

Keskuksen sisäinen sähkönjakelu voidaan toteuttaa joko virtakiskoilla tai eristetyillä johtimilla. Kotelokeskuksen lähtöyksiköt ovat kiinteitä ja kalustustapa voi olla yksikkölähtökalustus, jossa jokaisella yksikkölähdöllä on oma ovi tai yhteinäiskenttäkalustus, jossa yhden oven takana on useita sähkölähtöjä. Keskuksen tulevat komponentit kiinnitetään metallisiin asennuslevyihin tai DIN -asennuskiskoihin. /2/

### **6.2.3. Kaappikeskus**

Kaappikeskukset ovat kosketussuojattuja, yleensä lattialla seisovia keskuksia, jotka sisältävät yhden tai useampia kenttiä. Niitä käytetään usein sähköisten ohjauslaitteiden, kuten toimilaitelähtöjen tai automaatiolaitteiden, kuten prosessiasemien kotelointiin. /2/

Keskuksia valmistetaan monia eri kokoja, ja niiden runkomateriaalina on usein maalattu teräspelti. Sähköiset komponentit kiinnitetään kaapin sisällä oleviin asennuslevyihin. Kaappikeskuksien oviin voidaan asentaa kytkimiä, merkkilamppuja, piirtureita yms. komponentteja, jolloin ovi voi toimia myös jonkin prosessin osan valvontatauluna tai ohjauspaikkana. Kaappikeskuksen kaapelointi tehdään useimmiten alakautta.



## 7. PÄÄKESKUKSEN MITOITUS

Pääkeskuksen mitoituksessa on tärkeintä tietää keskuksen terminen ja dynaaminen oikosulkuvirta. Tämä liittyy oleellisesti henkilöturvallisuuteen. Seuraavaksi tärkeintä on osata mitoittaa keskuksen nimellisvirta huomioiden tulevaisuuden tehon tarve. Näin ollen vältytään tulevaisuudessa keskuksen uusimiselta, joka olisi taloudellisesti todella epäedullista.

Keskuksen ensimmäisessä hankintavaiheessa keskustoimittajille toimitettiin tarjouspyyntö, jonka mukaan he tarjosivat keskuksia. Tarjouspyynnöstä tulee esiintyä vähintään seuraavat tiedot: keskuksen nimellisvirta ja -jännite, oikosulkukestoisuudet, suojausluokka sekä keskuksen rakenne- ja kalustustiedot. Nämä kaikki tiedot sekä paljon muuta löytyy pääkaavion kansilehdeltä (liite 5). Pääkaaviosta käyvät helposti ilmi myös keskuksen lähdöt sekä komponenttivalinnat.

Pääkaaviota suunniteltaessa päätettiin, että keskuksen tehdään tavallista runsaammin tilavarauksia erisuuruisille lähdöille, sillä tehtaan tehonkulutus on tulevaisuudessa laajentumassa.

Pääkeskuksen mittaustilaan tehtiin tilavaraus energiamittareille, jotka paikallinen sähköverkkoyhtiö asentaa. Mittauspiiriin lisättiin myös energia-analysaattori, jotta sähkönkulutusta tehtaassa voidaan myös seurata itse.

### 7.1. Rakenne

Pääkeskus tullaan sijoittamaan erilliseen tilaan, joka sijaitsee teollisuushallin laajennusosassa. Keskuksen sijoituspaikka on tuotantotiloihin rakennettu sähkötila. Sähkötila ei ole hyvin eristetty, eikä siellä ole ilmanvaihtoa, joten tila on melko pölyinen. Tilan pölyisyyden takia keskuksen suojausluokka tulee olemaan IP54. Sähkötila on kooltaan melko pieni, mikä on otettava huomioon keskusta suunnitellessa. Keskus tullaan

asentamaan seinustalle, jonka leveys on 258 senttimetriä ja korkeus 300 senttimetriä. Tarvittaessa keskus voidaan asentaa kahdelle seinustalle.

Keskus tulee olemaan modulaarinen kennokeskus. Keskuksen kalustustapa tulee olemaan kiinteä. Kiinteä kalustustapa tullaan toteuttamaan yksikkölähtöperiaatteella. Yksikkölähtöperiaatteen mukaan kaikki lähdön komponentit asennetaan samaan lähtöyksikköön. Tämä on yleisesti käytetty tapa, joka selkeyttää huoltotöitä. Yksikkölähtöperiaatteen mukaan etukojeen syötön puoleiset navat on kosketussuojattu. Riviliittimiin ja ohjauspiirin johdonsuojakatkaisijoihin pääsee näin helposti käsiksi. Lähtöjen etukojeena on pääsääntöisesti kytkinvaroke. Pienemmille sulakkeettomille lähdöille asennetaan johdonsuojakatkaisijat.

Lähtöyksiköt kalustetaan siten, että normaaleihin huoltotilanteisiin, kuten esimerkiksi lämpöreleen kuittaamiseen, ei tarvita sähköalan ammattitaitoa. Tämä toteutetaan sijoittamalla lämpöreleen kuittauspainike kojetilän oveen. Lähtöyksiköt kosketussuojataan siten, että normaali käyttö ja huolto voidaan suorittaa turvallisesti.

## **7.2. Kalustus**

Pääkeskuksen lähdöistä suurin osa on niin sanottuja moottorilähtöjä. Moottorilähdöllä tarkoitetaan moottorin käynnistykseen tarvittavia kytkinlaitteita sekä moottorin ylivirtasuojaukseen tarvittavia suojalaitteita. Moottorilähdön komponentit mitoitetaan moottorin nimellisvirran mukaan. Komponenttien valintaan on olemassa myös valintataulukoita, joita keskusvalmistajat yleensä käyttävät. Taulukot on laadittu siten, että seuraavaksi suuremman standardimoottorikoon liittäminen lähtöön on mahdollista ilman moottorilähdön komponenttien vaihtoa. Moottorilähdön päävirtapiirin komponentteja ovat yleensä oikosulku- ja ylikuormitussuojat, kontaktori ja lämpörele. Suurempien moottorilähtöjen sulakkeellisena oikosulkusuojana toimii kytkinvaroke ja pienempien moottorilähtöjen sulakkeettomana oikosulkusuojana toimii johdonsuojakatkaisija.

### 7.3. Kaapelointi

Pääkeskuksen syöttökaapelit tulevat keskukseseen kaapelitunnelista keskuksen alapuolelta. Keskukselta lähtevät pää- ja ohjauskaapelit lähtevät ylhäältä. Keskuksen jokainen kenno varustetaan kaapelikentällä, sillä kennot koostuvat pienemmistä moduuleista ja ne on näin helpompi kaapeloida.

Keskuksen kaapeleiden on kestettävä kolmivaiheisen oikosulkuvirran aiheuttama terminen rasitus. Kaapelien terminen kestoisuus ilmaistaan yhden sekunnin oikosulkuvirralla  $I_{1s}$ , ja tämä arvo löytyy valmistajan kaapeliluetteloista. Kaapelin terminen kestoisuus perustuu kaapelin eristeaineiden lämmönkestävyyteen. Kaapelin lämpötila ei saa oikosulussa nousta niin suureksi, että sen eristykset vaurioituisivat. Johtimen lämpenemisen määräävät johtimien materiaali, poikkipinta, sekä oikosulkuvirran ekvivalenttinen tehollisarvo, kesto aika, ennen vikaa ollut kuormitusvirta sekä asennusympäristö. Dynaamisen oikosulukestoisuuden määräävät tukemiseen käytettävien kiinnikkeiden välimatka ja asennuskuvio.

Lähtökaapeleiden mitoituksessa on otettava huomioon jännitteenalenema, joka ei saisi olla liittymiskohdan ja sähkölaitteen välillä suurempi kuin 4 % sähkölaitteiston nimellisjännitteestä. Kulutuslaitteen ollessa kaukana syöttöpisteestä kaapelin poikkipinnan määrää yleensä kuormitettavuuden sijasta jännitteenalenema. Jännitteenalenemaa on käsitelty kohdassa 3.2.1, josta löytyy myös laskuesimerkki.

### 7.4. Oikosulkusuojaus

Oikosululla tarkoitetaan sähköenergiaa siirtävien erinapaisten paljaiden tai eristykseltään vahingoittuneiden tai heikosti eristettyjen johtimien tai kiskojen joutumista käytännöllisesti katsottuna vastuksettomaan kosketukseen toistensa kanssa. Jos jännitteinen johdin tai kisko joutuu kosketukseen suojajohtimeen tai muuhun maahan yhteydessä olevaan osaan, on kyseessä maasulku. /1/

Sähköturvallisuusmääräyksiensä mukaan sähkönjakelujärjestelmä on suunniteltava siten, että esiintyvät viat saadaan poistettua riittävän nopeasti ja ettei häiriöistä aiheudu hengen tai omaisuuden vaaraa. Sähkökeskuksissa tällaisia vikoja voivat aiheuttaa ylikuormitus, ylijännitteet, laitteiden tai eristeiden vioittuminen tai inhimillinen erehdys.

Kiinteistöjen sähköasennuksissa edellytetään verkon oikosulkulaskentaa, jotta verkon kosketusjännite- ja oikosulkusuojauksen toteutuminen olisi mahdollista. Uuden keskuksen tai verkon suunnittelussa oikosulkuvirran laskenta on ainoa vaihtoehto.

### **7.4.1. Oikosulkurasitukset**

Oikosulun rasitukset ovat termisiä ja dynaamisia. Koska vastus oikosulkuun joutuvien osien välillä on pieni, kasvaa virta Ohmin lain mukaan hyvin suureksi. Mitä suurempi on syöttävän energialähteen (muuntajan, generaattorin) teho, sitä suurempi on oikosulkuvirta. Lisäksi esimerkiksi kolmivaiheisessa oikosulussa keskukselta syötetyt epätahtimoottorit toimivat hetken aikaa generaattoreina syöttäen virtaa vikapaikkaan ja kasvattavat näin oikosulkuvirtaa. Kun jännite on vaihejohtimien ja -kiskojen välillä suurempi kuin vaiheen ja nollan tai vaiheen ja maan välillä, energia vaiheiden välisessä oikosulussa on suurempi ja seuraukset siitä vastaavasti vakavampia. /1/

Oikosulku voi tapahtua keskuksen sisällä tai keskuksen syöttämässä johdossa tai johtoon liitetyissä laitteissa. Oikosulkuvirtaa pienentää oikosulkupiirin impedanssi, joka muodostuu muuntajan, keskusta syöttävän kaapelin (tai muun johdon), kokoomakiskojen, kaapeli- ja kiskoliitoksien, kytkinlaitteiden, mahdollisten virtamuuntajien ja vastaavien impedansseista. Kun oikosulku tapahtuu keskuksen yläpuolella, oikosulkupiirin impedanssi kasvaa ja oikosulkuvirta pienenee myös keskukselta lähtevän kulutuslaitetta syöttävän kaapelin vaikutuksesta, ja se on tietenkin sitä merkittävämpi, mitä kauempana keskukselta oikosulku tapahtuu. /1/

Terminen kestävyys ei ole kokoomakiskojen kannalta merkittävä ongelma. Kiskojen poikkipinta määräytyy jo kuormituksen perusteella niin suureksi, että lyhyt oikosulku ei yleensä nosta lämpötilaa liian suureksi. Kuparikiskolla sallitaan loppulämpötilaksi

oikosulussa 200 °C ja alumiinilla 180 °C. Eräissä tapauksissa saatetaan joutua selektiivisyyssyistä valitsemaan niin pitkiä oikosulun katkaisuaikoja, että myös termiseen kestoisuuteen on kiinnitettävä huomiota. /1/

Keskuksen oikosulkukestävyyden kannalta ovat sähködynaamiset rasitukset tärkeimmät. Oikosulkuvirta aiheuttaa dynaamisesti rasittavan voiman keskuksen kokoomakiskojen välille ja muidenkin oikosulkupiirin osien välille. Keskusten kiskomateriaaleina käytetään kuparia ja alumiinia. Niistä valmistettujen kiskojen kestävyys perustuu näille metalleille määrättyyn myötörajaan, sillä niillä ei ole selvää venymärajaa, kuten esimerkiksi teräksellä. Myötörajalta tarkoitetaan rasiitusta, joka aiheuttaa 0,2 %:n suuruisen pysyvän venymän. Kuparilla se on erään lähteen mukaan noin 240 N/mm<sup>2</sup> ja alumiinilla noin 170 N/mm<sup>2</sup>, mutta myötörajan suuruus riippuu metallien käsittelystä (hehkutusasteesta) ja seosaineista. Jos rasiitus kasvaa myötörajasta suuremmaksi, saavutetaan jossain kohtaa murtoraja ja kisko katkeaa. Kiskojen dynaamisesti oikosulkukestävällä mitoituksella tarkoitetaan siis siten mitoitettua kiskostoa, että suurin esiintyvä oikosulkuvirta ei aiheuta kiskomateriaalien myötörajaa ylittäviä muutoksia. /1/

Myös kiskojen värähtelyn aiheuttamat rasitukset on otettava huomioon. Pelkkien kiskojen oikosulkukestävyys voidaan laskea kirjallisuudessa esiintyvien ohjeiden ja yhtälöiden avulla kohtuullisen tarkasti. Varsinaisten kiskojen lisäksi dynaaminen rasiitus kohdistuu myös kiskoston tukieristimiin. Niiden mitoituksista ei käytännössä voi tehdä laskenta-arvojen pohjalta, minkä vuoksi oikosulkukestävyys on todettava testaamalla. /1/

#### **7.4.2. Oikosulkukestävyys ja sen määrittäminen**

Sähkölaitteen oikosulkukestävyyden tarkoituksena on henkilöturvallisuus. Ihmisvahinkojen välttämisen ja ympäristön aineellisten vahinkojen ohella luonnollisesti laitteistojen säilyminen ehjänä on tärkeää. Oikosulkukestävyydessä ei ole kyse vain itse keskuksista, vaan myös kaikista laitteistoista, jonka osa keskus on. Oikosulusta huolimatta kaikkien laitteiden tulee säilyä käyttökuntoisena. Oikosulkukestävyys on turvallisuuden lisäksi siten myös osa käyttövarmuutta.

Kaikki sähkölaitteet voitaisiin rakentaa teoriassa niin lujiksi, että ne kestäisivät kaikki niihin kohdistuvat oikosulkurasitukset. Tällöin laitteista tulisi kuitenkin niin paljon tilaa vieviä, materiaalia tuhlaavia ja kalliita, ettei se kannattaisi.

Keskuksen oikosulkumitoituksessa on otettava huomioon sekä terminen nimelliskestovirta, joka merkitään tunnuksella  $I_{cw}$ , että dynaaminen nimelliskestovirta, joka merkitään tunnuksella  $I_{pk}$ . Jos keskuksessa tai sitä ennen ei ole oikosulkuvirtaa rajoittavia suojalaitteita, keskuksen mitoitus tehdään prospektiivisen oikosulkuvirran mukaan. Kun virtaa rajoittava koje on katkaisija, käytetään ehdollisesta nimellisoikosulkuvirrasta merkintää  $I_{CC}$ . Kun virtapiiri on suojattu sulakkeella, ehdollisesta nimellisoikosulkuvirrasta käytetään merkintää  $I_{cf}$ . Käyttämällä ehdollisen nimellisoikosulkuvirran  $I_{CC}$  ja  $I_{cf}$  arvoja saavutetaan käytännössä hyvin suuria säästöjä pienivirtaisten keskusten oikosulkukestoisuudesta. /1/

## 7.5. Oikosulkuvirtojen laskenta

Oikosulkuvirtojen laskeminen on hyvin laaja ja perustietoja vaativa tehtävä. Laskentaan käytetään yleensä apuna tietokonetta, sekä verkostolaskentaohjelmia. Tässä tapauksessa apuna ei käytetä laskentaohjelmistoja, vaan laskut ovat nähtävissä liitteessä 4.

Oikosulkuvirran suuruus voidaan myös määrittää mittaamalla, mutta uusissa käyttökohteissa mittaamista ei voida luonnollisesti tehdä ennen keskuksen valmistamista, eikä se kaikissa tapauksissa onnistu luotettavin tuloksin vanhojen asennustenkaan osalta. Keskuksen vaikuttavien prospektiivisen ja dynaamisen oikosulkuvirran arvot on hyvä tietää jo keskuksen suunnitteluvaiheessa. Näin voidaan taata riittävä oikosulkusuojaus käyttäen oikein mitoitettuja suojalaitteita.

Jos tilaaja ei ilmoita keskuksen käyttöpaikalla esiintyvää oikosulkuvirtaa, valmistaja käyttää keskuksen mitoitusperusteena keskuksen tuoteselosteessa, esitteessä tai muussa teknisessä dokumentissa keskukselle ilmoitettua oikosulunkestävyyttä. Keskuksen tulee kuitenkin kestää vähintään standardin SFS-EN 60439 taulukon 6 mukaisia syöttöliittimissä esiintyvän oikosulkuvirran arvoja /1/

**Taulukko 6. Oikosulkukestävyyden suositeltavat vähimmäisarvot 400V jännitteellä /1/**

Keskuksen nimellisvirta $I_n$ A	Terminen nimelliskestovirta (oikosulkuvirran tehollisarvo) $I_{cw}$ kA	Dynaaminen nimelliskestovirta (huippuarvo) $I_{pk}$ kA
$\leq 125$	< 5	< 7,5
> 125 $\leq$ 250	5,0	7,5
> 250 $\leq$ 400	6,3	10,7
> 400 $\leq$ 630	12,5	25,0
> 630 $\leq$ 800	16,0	32,0
> 800 $\leq$ 1000	20,0	40,0
> 1000 $\leq$ 1600	25,0	52,5
> 1600 $\leq$ 2000	31,5	66,2
> 2000 $\leq$ 2500	40,0	84,0
> 2500 $\leq$ 3150	50,0	105,0
> 3150	valmistajan ja tilaajan sopimuksen mukaan	

Oikosulkuvirtojen laskentaa varten joudutaan hankkimaan tietoja laskettavan kohteen komponenteista ja kohteessa vaikuttavista virroista. Oikosulkuvirran laskennan perustana ovat syöttävän verkon oikosulkuvirta liittymispisteessä, syöttökaapeleiden poikkipinnat, materiaalit ja pituudet, sekä syöttävän päämuuntajan sähkötekniset arvot.

Sähköverkon ja keskuksen suojauksen kannalta keskeisimpiä laskentatuloksia ovat suurin ja pienin oikosulkuvirta. Keskuksen mitoitukseen vaikuttavia tekijöitä ovat sysäyoikosulkuvirta  $i_s$ , joka vaikuttaa keskukseen dynaamisesti, sekä ekvivalenttinen oikosulkuvirta  $I_{TH}$ , joka vaikuttaa vikapaikkaan termisesti.

### 7.5.1. Oikosulkuvirran laskeminen Thevenin menetelmällä

Thevenin menetelmän yksivaiheisessa sijaiskytkennässä käytetään symmetristen komponenttien menetelmää, jossa komponentit korvataan oikosulkuimpedansseilla ja

vikapaikkaan sijoitetaan ekvivalenttinen jännitelähde  $E_{EKV}$ . Ekvivalenttisen jännitelähteen arvo lasketaan kaavalla 23. /1/

$$E_{EKV} = \frac{c * U_N}{\sqrt{3}}, \quad (23)$$

missä  $c$  on taulukon 7 mukainen jännitekerroin  
 $U_N$  on vikapaikan käyttöjännite.

**Taulukko 7. IEC 60909:n mukainen jännitekerroin c**

Nimellisjännite $U_n$	Jännitekerroin c	
	Maksimioikosulkuvirta $C_{MAX}$	Minimioikosulkuvirta $C_{MIN}$
Pienjännite 230 / 400 V < 1000 V	1,00 1,05	0,95 1,00
Keskijännite 1 kV - 35 kV	1,10	1,00
Suurjännite 35 kV - 230 kV	1,10	1,00

Oikosulkuvirtojen laskemiseksi täytyy määrittää verkon komponenttien oikosulkuimpedanssit.

## Taustaverkko

Taustaverkon alkuoikosulkuimpedanssi  $Z_Q$  saadaan laskettua kaavalla 24, kun tunnetaan verkon alkuoikosulkuteho tai -virta.

$$Z''_Q = \frac{c * U_N}{S_k''_Q} = \frac{c * U_N}{\sqrt{3} * I_k''_Q}, \quad (24)$$

missä  $S_k''_Q$  on alkuoikosulkuteho ja  
 $I_k''_Q$  on alkuoikosulkuvirta. /1/



## Muuntaja

Muuntajan nimellisarvot oikosulkuimpedanssin laskemiseksi saadaan muuntajan arvokilvestä tai valmistajalta. Valmistaja antaa muuntajalle oikosulkujänniteprosentin  $z_K$ , joka jakautuu resistiiviseen  $z_R$  ja reaktiiviseen  $z_X$  osaan. Kaksikäsimuuntajan oikosulkuimpedanssi, -resistanssi ja -reaktanssi saadaan kilpiarvoista ja käyttäen kaavoja 25, 26, 27 ja 28.

$$z_R = \frac{100 * P_K}{S_N} \% \quad (25)$$

$$R_M = \frac{z_R}{100\%} * \frac{U_N^2}{S_N} \quad (26)$$

$$Z_M = \frac{z_K}{100\%} * \frac{U_N^2}{S_N} \quad (27)$$

$$X_M = \sqrt{Z_M^2 - R_M^2}, \quad (28)$$

missä  $z_K$  on oikosulkujänniteprosentti  
 $z_R$  on resistiivinen oikosulkujänniteprosentti  
 $R_M$  on muuntajan oikosulkuresistanssi  
 $X_M$  on muuntajan oikosulkureaktanssi  
 $Z_M$  on muuntajan oikosulkuimpedanssi  
 $P_K$  on muuntajan kuormitushäviöt  
 $S_N$  on muuntajan nimellisnäennäisteho  
 $U_N$  on muuntajan nimellisjännite /1/

## Kaapelit

Pitkät liittymiskaapelit vaimentavat merkittävästi oikosulkuvirtaa. Ohuemmillä kaapeleilla resistanssin osuus on impedanssia suurempi, joten kaapelin pinta-alan kasvaessa kaapelin R/X-suhde pienenee. Kaapeleiden valmistaja ilmoittaa kaapelille maksimi vaiheresistanssin pituusyksikköä kohti vaihtojännitteellä +70 °C:ssa sekä johtimen induktanssin. Johtimen reaktanssi pituusyksikköä kohden saadaan laskettua johtimen induktanssista kaavalla 29.

$$X_L = 2\pi fL \angle -90^\circ, \quad (29)$$

missä X on reaktanssi  
f on vaihtojännitteen taajuus  
L on johtimen induktanssi

Johtimen impedanssi esitetään komponenttimuodossa (kaava 30):

$$Z_j = (R + jX), \quad (30)$$

missä Z on johtimen impedanssi  
R on johtimen reaktanssi  
X on johtimen reaktanssi

### 7.5.2. Suurin oikosulkuvirta

Kolmevaiheisessa oikosulussa oikosulkuimpedanssi muodostuu myötäimpedansseista ja suurimman oikosulkuvirran laskemiseksi täytyy selvittää verkon kaikkien komponenttien myötäimpedanssit. /1/

Kolmevaiheinen oikosulkuvirta saadaan kaavasta 31:

$$I_{k3}'' = \frac{E_{EKV}}{\sqrt{R_1^2 + X_1^2}} = \frac{c * U_n}{\sqrt{3} * Z_1}, \quad (31)$$

missä R<sub>1</sub> on myötäkomponenttiverkon resistanssi  
X<sub>1</sub> on myötäkomponenttiverkon reaktanssi  
Z<sub>1</sub> on myötäkomponenttiverkon impedanssi  
c on taulukon 7 mukainen jännitekerroin

### 7.5.3. Pienin oikosulkuvirta

Pienin oikosulkuvirta täytyy määrittää, jotta voidaan varmistua kosketusjännitesuojauksen toimivuudesta. Pienintä oikosulkuvirtaa määritettäessä valitaan taulukosta 7 arvo  $c_{MIN}$ . Pienin oikosulkuvirta tapahtuu yleensä yksi- tai kaksivaiheisessa oikosulussa. Kaksivaiheisen oikosulkuvirran arvoa tarvitaan ainoastaan maasta erotetun verkon suojauslaskennassa, joten sitä ei tässä työssä ole laskettu.

Yksivaiheisen oikosulkuvirran suuruuteen vaikuttavat verkon myötä-, vasta- sekä nollaimpedanssit. Yksivaiheinen oikosulkuvirta lasketaan kaavalla 32.

$$I_{k1v} = \frac{c_{MIN} * 3 * U_v / \sqrt{3}}{\sqrt{(2 * (R_Q + R_M) + R_{M0} + 3L(R_V + R_0))^2 + (2 * (X_Q + X_M) + X_{M0} + L(2X_V + X_{V0} + 3X_0))^2}} \quad (32)$$

missä

- $U_v$  on syöttävän verkon pääjännite
- $c_{MIN}$  on taulukon 7 mukainen jännitekerroin
- $R_Q$  on taustaverkon oikosulkuresistanssi
- $R_M$  on muuntajan oikosulkuresistanssi
- $X_Q$  on taustaverkon oikosulkureaktanssi
- $X_M$  on muuntajan oikosulkureaktanssi
- $R_{M0}$  on muuntajan nolaresistanssi
- $X_{M0}$  on muuntajan nolareaktanssi
- $R_V$  on vaihejohtimen resistanssi
- $X_V$  on vaihejohtimen reaktanssi
- $X_{V0}$  on vaihejohtimen nolareaktanssi
- $R_0$  on PEN - johtimen resistanssi
- $X_0$  on PEN - johtimen reaktanssi
- $L$  on johtimen pituus

Liittymän pääsulakkeen ollessa 500 ampeeria tulee pienimmän yksivaiheisen oikosulkuvirran olla taulukon 8 mukaan 3,0-kertainen pääsulakkeen nimellisvirtaan nähden. Tässä tapauksessa yksivaiheisen oikosulkuvirran arvon täytyy olla suurempi kuin

$3,0 * 500 \text{ A} = 1500$  ampeeria. Pienin yksivaiheinen oikosulkuvirta on laskettu liitteessä 4 ja se on 9,16 kiloampeeria, joka on riittävän suuri.

**Taulukko 8. Pienin oikosulkuvirta, jonka mukaan vikasuojaukseen käytetty ylivirtasuojia voidaan mitoittaa, sekä liittymän ylivirtasuojien sallitut hitaimmat toiminta-ajat**

Ylivirtasuojia	Pienin yksivaiheinen oikosulkuvirta	Toiminta-aika liittymän päävarokkeen luona	Toiminta-ajat liittymän sähköverkossa
gG - sulake $IN \leq 63 \text{ A}$	$2,5 \times IN$	5 s	0,4 s ja 5 s
gG - sulake $IN > 63 \text{ A}$	$3,0 \times IN$		

#### 7.5.4. Terminen oikosulkuvirta

Oikosulkuvirran aiheuttamia termisiä vaikutuksia kuvataan 1 sekunnin ekvivalenttisenä virtana, jonka avulla komponentit mitoitetaan termisesti. Oikosulkuvirran termisen vaikutuksen laskemisessa hyödynnetään vikapaikalle laskettua alkuoikosulkuvirtaa ja oikosulkuvirran komponenttien vaimeneminen huomioidaan erillisillä kertoimilla. Näin ollen ekvivalenttinen terminen oikosulkuvirta  $I_{TH}$  voidaan laskea kaavalla 33. /1/

$$I_{TH} = I_k \sqrt{m + n}, \quad (33)$$

missä  $m$  on vaimenevan tasavirtakomponentin arvo kuvasta 12

$n$  on vaimenevan vaihtovirtakomponentin arvo kuvasta 13

Virtapiirin laitteet kestävät oikosulun termisesti, mikäli epäyhtälö 34 tai 35 toteutuu.

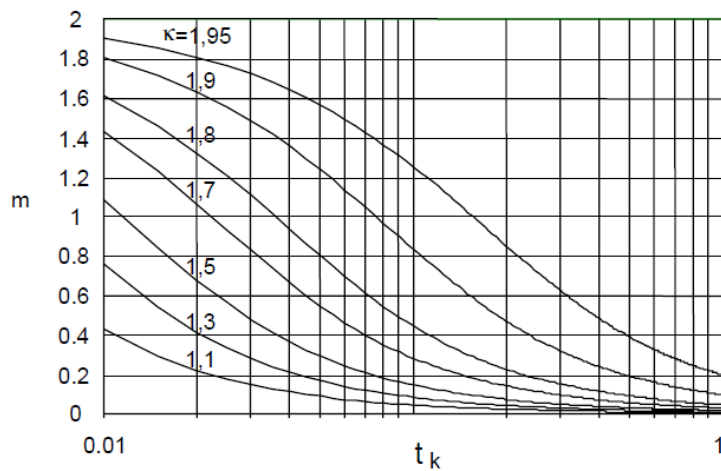
$$I_{TH} \leq I_{THN}, \text{ kun } t \geq t_N \quad (34)$$

$$I_{TH} \leq I_{THN} \sqrt{\frac{t_N}{t}}, \text{ kun } t \leq t_N, \quad (35)$$

missä  $I_{THN}$  on laitteen nimellinen terminen oikosulkukestoisuus

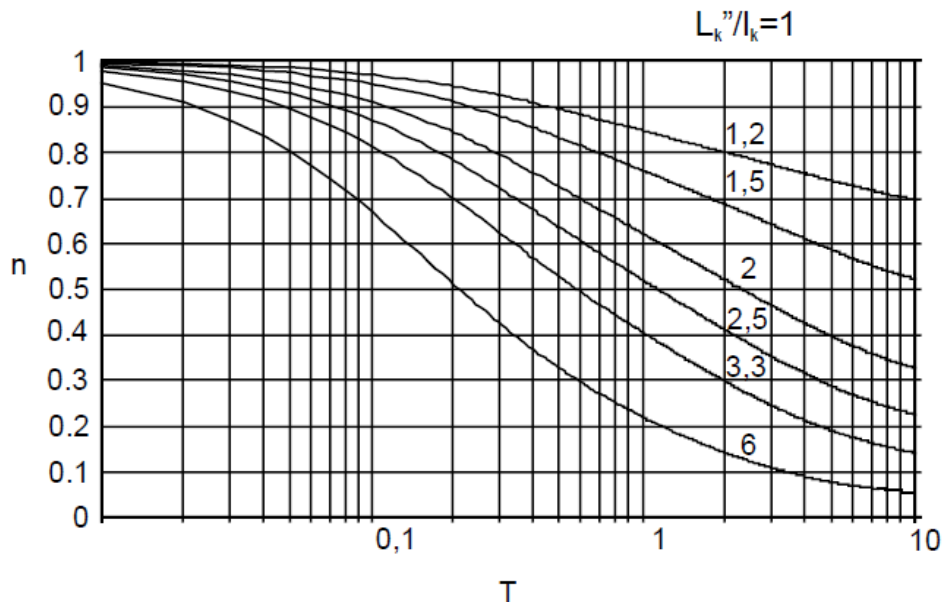
$t_N$  on laitteen nimellistä termistä oikosulkukestoisuutta vastaava aika.

Yleensä laitteiden terminen kestoisuus ilmoitetaan 1 sekunnin arvona, mutta myös muita arvoja käytetään.



**Kuva 12. Tasavirtatekijän  $m$  riippuvuus oikosulkuvirran sysäyskerroimesta ja oikosulun kestoajasta**

Kohdan 3.2.2 kuvasta 2 nähdään, että pääkeskuksen syöttöä suojaavat 630 ampeerin sulakkeet toimivat 14,75 kiloampeerin virralla 0,06 sekunnissa. Kyseisen oikosulun kestoajan perusteella saadaan kuvasta 12 selville vaimenevan tasavirtakomponentin arvo  $m$ , joka on 0,08, kun sysäyskerroin  $k$  on 1,1.



**Kuva 13. Vaihtovirtatekijän  $n$  riippuvuus oikosulkuvirran alkuarvon ja pysyvän arvon suhteesta  $I_k''/I_k$**

Pysyvän tilan oikosulkuvirralla tarkoitetaan oikosulkuvirtaa, jossa kaikki muutosilmiöt ovat vaimentuneet. Pysyvän tilan oikosulkuvirralla ei voida laskea mitään tarkkaa arvoa alkuoikosulkuvirran tapaan, sillä se riippuu muun muassa tahtikoneiden magnetointitavasta ja -säädoistä sekä verkon kytkentätilanteiden muutoksista oikosulun aikana.

Jos vaimenevan vaihtovirtakomponentin  $n$  arvona käytetään oikosulkuvirran alkuarvon ja pysyvän arvon epäedullisinta suhdetta kuvassa 13, saadaan vaimenevan vaihtovirtatekijän arvoksi 0,89, kun oikosulun kesto-aika on 0,06 sekuntia.

Ekvivalenttinen terminen oikosulkuvirta  $I_{TH}$  on laskettu kohdan 7.5.4 kaavan 33 mukaan liitteessä 4.

Ekvivalenttinen terminen oikosulkuvirta on 14,5 kiloampeeria. Kohdan 7.5 taulukossa 6 suositellaan, että nimellisvirraltaan 1000 ampeerin keskuksen terminen oikosulkukestävyys olisi oltava vähintään 20 kiloampeeria, joten keskuksen nimellinen terminen oikosulkukestävyys määritellään sen mukaan.

### 7.5.5. Dynaaminen oikosulkuvirta

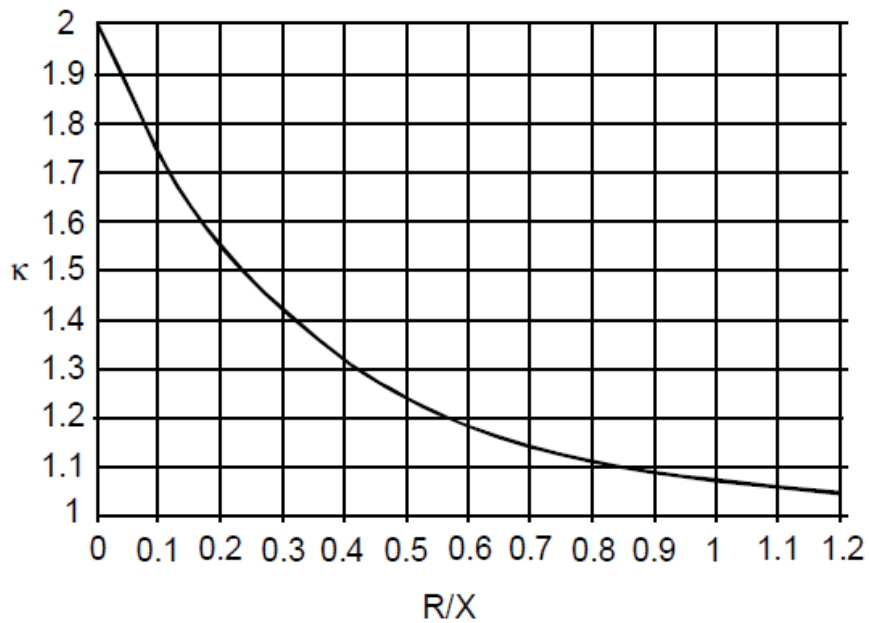
Oikosulun dynaaminen voimavaikutus on suurimmillaan ensimmäisen puolijakson huippukohdassa, jossa sysäysoikosulkuvirran  $i_s$  arvo on huipussaan. Sysäysoikosulkuvirran aiheuttama dynaaminen voimavaikutus määrää laitteiden ja komponenttien mekaanisen mitoituksen. Sulakkeet ja katkaisijat pienentävät oikosulun aiheuttamia dynaamisia voimavaikutuksia. Sysäysoikosulkuvirta lasketaan kaavalla 36.

$$i_s = k\sqrt{2} * I_k'' , \quad (36)$$

missä  $k$  on sysäyskerroin

$I_k''$  on alkuoikosulkuvirran tehollisarvo

Sysäyskerroin riippuu oikosulkupiirin resistanssin  $R$  ja reaktanssin  $X$  suhteesta. Sysäyskerroin voidaan määrittää kuvasta 14 tai laskea kaavalla 37, kun tiedetään oikosulkupiirin resistanssi ja reaktanssi, jotka on laskettu liitteen 4 taulukossa 3.



**Kuva 14. Sysäskertoimen k riippuvuus oikosulkuvirtapiirin R/X-suhteesta**

$$k = 1,02 + 0,98 * e^{\frac{-3 * R}{X}}, \quad (37.)$$

missä R on oikosulkupiirin resistanssi  
 X on oikosulkupiirin reaktanssi  
 e on Neperin luku

Sysäsoikosulkuvirta  $i_s$  on laskettu liitteessä 4 ja sen arvoksi saatiin 22,92 kiloampeeria. Kohdan 7.5 taulukossa 6 määritetään, että 1000 ampeerin nimellisvirraltaan olevan keskuksen dynaaminen oikosulkukestävyys täytyisi olla vähintään 40 kiloampeeria, joten keskuksen dynaaminen oikosulkukestävyys mitoitetaan sen mukaan.

## 8. VALAISTUSSUUNNITELMA

Valaistussuunnitelma tehtiin kohteeseen, sillä tämänhetkinen valaistus työskentelykohteissa ei ole riittävä. Valaistussuunnitelma tehtiin DIALux -valaistussuunnitelmaohjelmalla. Tehtaan uusi valaistus tullaan toteuttamaan liitteessä 11 esitetyn valaistussuunnitelman mukaisesti. Liitteessä 11 on esitetty tehtaan laajennusosan pohjapiirustus, mistä nähdään myös asennettavien valaisimien paikka sekä valon jakautuminen tilan eri osiin. Liitteessä on myös esitetty esimerkkinä yksi valaisintyyppi. Tilaan asennettavien valaisimien on oltava teholtaan vähintään vastaavia, jotta tavoitteelliseen valaistusvoimakkuuteen päästäisiin. Valaisimia täytyy huoltaa säännöllisesti, jotta ne pysyvät toimintakelpoisina. Liitteessä 11 sivulla 3 on huoltokaavio, jonka mukaan valaisimia on huollettava.

Valaisimien valinnassa ja asennuksessa on hyvä noudattaa seuraavaa periaatetta:

- 1) Ensiksi määritellään haluttu valaistusvoimakkuuden minimimäärä työtasolla tai työkohteessa. Samalla mitataan valaistava pinta-ala. On huomattava, että valaisimet likaantuvat ajan myötä ja putkien valon tuotto heikkenee. Sen vuoksi on tarkoituksenmukaista laskea tietty ”ikäntymisvara” valaistusvoimakkuudelle. Myös seinä-, katto- ja lattiapinnat likaantuvat, jolloin niiden valaistusominaisuudet heikkenevät.
- 2) Seuraavaksi määritellään asennustilan ominaisuudet ja niihin asennettavien valaisimien kotelointiluokka.
- 3) Tutkitaan miten korkealle valaisimet asennetaan.
- 4) Määritellään lampun teho ja sen tyyppi. Tärkeimpänä kriteerinä on värintoisto-ominaisuus, joka ilmaistaan niin sanottuna RA -indeksinä. Mitä parempi värintoisto-ominaisuus on, sitä paremmin värit erottuvat toisistaan, eli niiden kontrasti on hyvä.
- 5) Määritellään asennettavien valaisimien tyyppi ja rakenne sekä niiden määrä ja asennustapa. Tässä tarvitaan apuna muun muassa valaisimen valonjakokäyrää.



## 9. YHTEENVETO

Insinööriyön päätavoitteena oli suunnitella uusi pääkeskus porraselementtitehtaaseen. Tavoite saavutettiin ja tarjouspyynnöt lähetettiin maaliskuun loppupuolella keskusvalmistajille. Tarjouksia keskuksista tuli hyvin erilaisia, eivätkä kaikki keskustoimittajat kyenneet valmistamaan tarvittavan suojausluokan omaavia keskuksia. Pääkeskus päätettiin tilata Norelco Oy:ltä Savonlinnasta sillä heidän tarjous vastasi parhaiten vaatimuksia ja oli myös hinnaltaan halvimpia vaihtoehtoja.

Toisena tavoitteena oli määrittää tehtaan loistehon kulutus ja mitoittaa loistehon kompensointiparisto siten, että sen kapasiteetti riittää myös tulevaisuudessa. Loistehon kompensoinnin investointi on erittäin kannattavaa, sillä suunnitellun kompensointipariston takaisinmaksuaika on alle kaksi vuotta ja tämän jälkeen se tuottaa vuodessa yli 1000 euron säästön. Loistehon kompensointilaitteisto tilattiin FRAKO:lta.

Keskuksen asennus ja kaapelointi on kohtuullisen helppoa, sillä uusi keskus tulee lähelle vanhaa keskusta, ja niiden välillä lattiatason alapuolella kulkee kaapelitunneli. Uuden keskuksen syöttökaapelit tulevat keskukseen myös alhaalta, ja niille on varattu hyvin kytkentätilaa.

Uuden keskuksen käyttöönoton ja kaiken muun sähköistyksen suorittaa paikallinen sähköasennus yritys, Sisä-Savon Sähköasennus. Keskus tullaan ottamaan käyttöön kesän 2011 aikana.

## 10. LÄHDELUETTELO

- /1/ ABB Strömberg, Teknisiä tietoja ja taulukoita, 1. painos, Vaasa Oy, 2000.
- /2/ Mäkinen, Markku J.J., Teollisuuden sähköasennukset, 1. painos, Kustannusosakeyhtiö Otava, 2004.
- /3/ PSK 1081, Prosessiteollisuuden jakokeskus, 3. painos, PSK Standardisointiyhdistys ry, 2000.
- /4/ Savon Voima, Sähkön hinnat 1.1.2011 alkaen, [pdf], [[http://www.savonvoima.fi/SiteCollectionDocuments/yksityisasiakkaat/Sahkonhinnat\\_01012011.pdf](http://www.savonvoima.fi/SiteCollectionDocuments/yksityisasiakkaat/Sahkonhinnat_01012011.pdf)] 14.03.2011.
- /5/ SFS-EN 6000, Pienjännitesähköasennukset ja sähkötyöturvallisuus, 1. painos, Suomen standardisoimisliitto, 2007.
- /6/ SFS-EN 60439, Jakokeskukset, 2. painos, Suomen standardisoimisliitto, 2005.
- /7/ Sähköenergialiitto ry, Pienjänniteverkon ja jakelummuuntajan sähköinen mitoittaminen, Sener verkostosuositus SA 2:08, Helsinki, 2008.
- /8/ Tiainen, Esa, D1-2009 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista, 16. painos, Sähköinfo Oy, 2010.
- /9/ Tiainen, Esa, Johdon mitoitus ja suojaus, 1. painos, Sähköinfo Oy, 2004.

## 11. LIITELUETTELO

LIITE 1	Sähköliittymän mitoituskalkelmat
LIITE 2	Kompensointilaitteiston mitoituskalkelmat
LIITE 3	Kompensointilaitteiston takaisinmaksuaika
LIITE 4	Oikosulkuvirtalaskelmat
LIITE 5	Pääkeskuskaavio
LIITE 6	Nousujohtokaavio
LIITE 7	Piirikaaviot
LIITE 8	Maadoituskaavio
LIITE 9	Sähkötalan pohjapiirustus
LIITE 10	Tarjouspyyntö keskusvalmistajille
LIITE 11	Valaistussuunnitelma

## Sähköliittymän mitoituslaskelmat

### Tasoituserroin

Kohdan 3.1 taulukon 1. mukaan tehtaan liittymistehoksi saadaan 227,3 kilowattia. Mitatun pätötehohuipun arvo viikon aikana oli 156,7 kilowattia. Näiden arvojen mukaan voidaan laskea tasoituserroin  $k$ .

$$k = \frac{P_H}{P_L} * 100\% = \frac{156,7kW}{227,3kW} * 100\% = 68,9\%$$

### Liittymän teoreettinen huippuvirta

Taulukossa 2. esiintyvien tulevaisuuden teholisäyksien jälkeen tehtaan liittymistehoksi tulisi 331,2 kilowattia.

$$I_N = \frac{331,2kW}{\sqrt{3} * 400 * 0,96} = 498A \quad \rightarrow 500A \text{ pääsulakkeet}$$

$$P_{LTOD} = 331,2kW * 0,7 = 231,85kW$$

Todellinen huippuvirta kompensoituna ja kompensoimattomana.

$$I_{Nkompensoitu} = \frac{P_{LTOD}}{\sqrt{3} * U * \cos \varphi} = \frac{231,85kW}{\sqrt{3} * 400 * 0,96} = 348,6A$$

$$I_{Nkompensoitaton} = \frac{P_{LTOD}}{\sqrt{3} * U * \cos \varphi} = \frac{231,85kW}{\sqrt{3} * 400 * 0,72} = 464,78A$$

$$\frac{I_{Nkompensoitu}}{I_{Nkompensoitaton}} = \left( 1 - \frac{348,6A}{464,78A} \right) * 100\% = 24,9\%$$

Kompensoimalla loisteho saadaan noin 25 % nykyistä pienempi kuormitusvirta.

## **Syöttökaapelin mitoitus**

Liittymän teoreettinen huippuvirta lisättynä 20 % laajennusvaralla

$$I_{N+20\%} = I_N * \left(1 + \frac{20}{100} \%\right) = 498A * \left(1 + \frac{20}{100} \%\right) = 597,6A$$

Rinnansyöttönä AXMK 4x240mm<sup>2</sup> alumiinivoimakaapeleiden kuormitettavuus on 750 ampeeria. Kuormitettavuus kuitenkin heikkenee korjauskertoimen k mukaan. Syöttökaapeleiden kuormitettavuus korjauskerroin huomioon otettuna on

$$I_{NK} = I_{NK0} * k = 750A * 0,85 = 637,5A$$

Syöttökaapeleita suojaavat 630 ampeerin gG –sulakkeet vaativat minimissään kuitenkin 695 ampeerin kuormitettavuuden, joten syöttökaapeleiksi jouduttiin valitsemaan AXMK 4x300mm<sup>2</sup>. Kyseisen kaapelin kuormitettavuus maa-asennuksena on 430 ampeeria, joten rinnansyöttönä kuormitettavuus on 860 ampeeria. Korjauskerroin 0,85 huomioon otettuna kuormitettavuus on:

$$I_{NK} = I_{NK0} * k = 860A * 0,85 = 731A$$

## **Jännitteenalenema**

Jännitehäviö muuntajalta pääkeskukselle:

$$U_{hvM \rightarrow PK} = 597,6A * 0,11km * \sqrt{3} * \left( \frac{0,11 \Omega}{2 km} * 0,96 \pm \frac{0,079 \Omega}{2 km} * 0,28 \right) = 7,27V$$

$$U_{hv\%M \rightarrow PK} = \frac{7,27V}{400V} * 100\% = 1,82\%$$

Jännitehäviö pääkeskukselta kauimmaiselle kulutuslaitteelle käyttäen 1,5mm<sup>2</sup> asennuskaapelia:

$$U_{hv1,5mm^2} = 10A * 2 * 0,09km * (11,8 \frac{\Omega}{km} * 0,96 + 0,115 \frac{\Omega}{km} * 0,28) = 20,44V$$

$$U_{hv\%1,5mm^2} = \frac{20,44V}{230V} * 100\% = 8,9\%$$

Jännitehäviö pääkeskukselta kauimmaiselle kulutuslaitteelle käyttäen 2,5mm<sup>2</sup> asennuskaapelia.

$$U_{hv2,5mm^2} = 10A * 2 * 0,09km * (7,07 \frac{\Omega}{km} * 0,96 + 0,110 \frac{\Omega}{km} * 0,28) = 12,27V$$

$$U_{hv\%2,5mm^2} = \frac{12,27V}{230V} * 100\% = 5,3\%$$

## **Oikosulkukestoisuus**

Kolmivaiheisen oikosulun maksimi kestoaika

$$t = \left( \frac{I_{1s}}{I_k} \right)^2 = \left( \frac{28,3kA}{14,75kA} \right)^2 = 3,68s$$

## Kompensointilaitteiston laskelmat

### *Loistehotarpeen määrittäminen*

Mittausjaksolla esiintynyt suurin pätötehon tuntikeskiteho  $P_h$  oli 130 kilowattia ja loistehon  $Q_h$  oli 74,2 kilovaria.

Tämänhetkinen  $\cos \varphi_1$ :

$$\cos \varphi_1 = \frac{P_h}{S_h} = \frac{P_h}{\sqrt{P_h^2 + Q_h^2}} = \frac{130kW}{\sqrt{130kW^2 + 74,2kVar^2}} = 0,86$$

Tavoitteellinen  $\cos \varphi_2$ :

$$\cos \varphi_2 = \frac{P_h}{S_h} = \frac{P_h}{\sqrt{P_h^2 + Q_i^2}} = \frac{130kW}{\sqrt{130kW^2 + 26kVar^2}} = 0,98$$

Tarvittavan loistehon määrä:

$$Q_k = k * P_h = 0,39 * 130kW = 50,7kVar$$

### *Loistehosta aiheutuvat kustannukset*

Ilmaisen loistehon osuus  $Q_i$ :

$$Q_i = 0,2 * P_h = 0,2 * 130kW = 26kVar$$

Maksettavan loistehon osuus  $Q_m$ :

$$Q_m = 74,2kVar - 26kVar = 48,2kVar$$

Loistehosta aiheutuvat vuotuiset kustannukset:

$$Q_{ma} = Q_m * 4,78\text{€/kk} * 5kk = 48,2kVar * 4,78\text{€/kk} * 5kk = 1151,98\text{€/v}$$

## Kompensointilaitteiston takaisinmaksuaika

Kompensointilaitteiston takaisinmaksuaika  $\tau$  voidaan ratkaista johtamalla seuraavaa kaavaa:

$$K_0 = T_1 * \frac{100}{p} * \left(1 - \frac{1}{\alpha^\tau}\right),$$

missä  $K_0$  on investointikustannus (2000€)

$T_1$  on kompensointilaitteiston käytöstä aiheutuva vuotuinen hyöty (1152€)

$p$  on vuotuinen korkoprosentti (6%)

$$2000\text{€} = 1152 * \frac{100}{6} * \left(1 - \frac{1}{1,06^\tau}\right)$$

$$0,104 = 1 - \frac{1}{1,06^\tau}$$

$$-0,8958 = -\frac{1}{1,06^\tau}$$

$$-0,8958 * 1,06^\tau = -1$$

$$1,06^\tau = 1,116$$

$$\tau \log 1,06 = \log 1,116$$

$$\tau = \frac{\log 1,116}{\log 1,06} = 1,88$$

Kompensointilaitteiston takaisinmaksuaika on 1,88 vuotta. Tämä on 1 vuosi ja 10 kuukautta.



## Oikosulkuvirtalaskenta

Oikosulkuvirrat on laskettu syöttökaapelin päässä, johon pääkeskus tulee sijoittumaan. Ensin lasketaan pääkeskusta syöttävän verkon kokonaisuikosulkuimpedanssi. Syöttävän verkon kokonaisuikosulkuimpedanssi koostuu taustaverkon-, keskijännitekaapeleiden-, muuntajan-, sekä syöttökaapeleiden impedansseista.

### Taustaverkko

Taustaverkon impedanssi  $Z_Q$  voidaan ratkaista kun tiedetään verkon pääjännite  $U_n$  sekä kolmivaiheinen alkuoikosulkuvirta  $I_{k3}''_Q$ . Verkon kolmivaiheinen alkuoikosulkuvirta  $I_{k3}''_Q$  on 4835 ampeeria ja nimellispääjännite  $U_n$  on 21,1 kilovoltia. Nämä tiedot saatiin paikalliselta sähköverkkoyhtiöltä.

$$Z_Q = \frac{c * U_N}{S_k''_Q} = \frac{c * U_N}{\sqrt{3} * I_{k3}''_Q}$$

$$Z_Q = \frac{1,1 * 21,1kV}{\sqrt{3} * 4835A} = 0,00277\Omega$$

Taustaverkon impedanssi sähköasemalla on siis 0,00277 ohmia. Redusoituna 0,4 kilovoltin tasoon taustaverkon impedanssi on

$$Z_{Q0,4kV} = \left( \frac{U_{1n}}{U_{2n}} \right)^2 * Z_{Q20kV} = \left( \frac{400}{20000} \right)^2 * 0,00277\Omega = 0,001108m\Omega$$

### Keskijännitekaapelit

Kaapelointi sähköasemalta uudelle muuntajalle tulee olemaan seuraavanlainen. Sähköasemalta lähtee ilmajohtona Al 132:sta 1 kilometri, mistä kaapelointi jatkuu 150 metriä 185 neliömetrin APYAKMM maakaapelina. Tämän jälkeen kaapeli haaroitetaan ja jatketaan 212 metriä 150 neliömetrin APYAKMM maakaapelilla muuntajalle.

**Taulukko 1 Käytettyjen keskijännitekaapeleiden ominaisuudet**

Kaapeli	Vaiheresistanssi $\Omega/\text{km}$	Vaihereaktanssi $\Omega/\text{km}$
AI 132	0,218	0,344
APYAKMM 3x185	0,175	0,107
APYAKMM 3x150	0,216	0,111

Keskijännitekaapeleiden resistanssi on laskettu seuraavassa

$$R_{jKJ} = R_{AI132} + R_{APYAKMM 185} + R_{APYAKMM 150}$$

$$R_{AI132} = 0,218\Omega * 1\text{km} = 0,218\Omega$$

$$R_{APYAKMM 185} = 0,175\Omega * 0,15\text{km} = 0,0262\Omega$$

$$R_{APYAKMM 150} = 0,216\Omega * 0,212\text{km} = 0,0458\Omega$$

$$R_{jKJ} = 0,218\Omega + 0,0262\Omega + 0,0458\Omega = 0,29\Omega$$

Redusoituna 400 voltin jännitetasoon keskijännitekaapeleiden resistanssi on:

$$R_{jKJkok0,4kV} = \left(\frac{U_{1n}}{U_{2n}}\right)^2 * R_{jKJkok20kV} = \left(\frac{400}{20000}\right)^2 * 0,29\Omega = 0,116\text{m}\Omega$$

Keskijännitekaapeleiden reaktanssi on laskettu seuraavassa

$$X_{jKJ} = X_{AI132} + X_{APYAKMM 185} + X_{APYAKMM 150}$$

$$X_{AI132} = 0,344\Omega * 1\text{km} = 0,344\Omega$$

$$X_{APYAKMM 185} = 0,107\Omega * 0,15\text{km} = 0,016\Omega$$

$$X_{APYAKMM 150} = 0,111\Omega * 0,212\text{km} = 0,0235\Omega$$

$$X_{jKJ} = 0,344\Omega + 0,016\Omega + 0,0235\Omega = 0,383\Omega$$

Redusoituna 400 voltin jännitetasoon keskijännitekaapeleiden reaktanssi on:

$$X_{jKJkok0,4kV} = \left(\frac{U_{1n}}{U_{2n}}\right)^2 * X_{jKJkok20kV} = \left(\frac{400}{20000}\right)^2 * 0,383\Omega = 0,153\text{m}\Omega$$

Keskijännitekaapeleiden impedanssi esitetään komponenttimuodossa

$$Z_{jKJ} = (R + jX)$$

$$Z_{AI132} = (0,218\Omega + j0,344\Omega) * 1\text{km} = 0,407\Omega \angle 57,64^\circ$$

$$Z_{APYAKMM 185} = (0,175\Omega + j0,107\Omega) * 0,15\text{km} = 0,0308\Omega \angle 31,44^\circ$$

$$Z_{APYAKMM 150} = (0,216\Omega + j0,111\Omega) * 0,212\text{km} = 0,0515\Omega \angle 27,2^\circ$$

Keskijännitekaapeleiden kokonaisimpedanssi on

$$Z_{jKJkok} = Z_{A1132} + Z_{APYAKMM185} + Z_{APYAKMM150}$$

$$Z_{jKJkok} = 0,407\Omega\angle 57,64^\circ + 0,0308\Omega\angle 31,44^\circ + 0,0515\Omega\angle 27,2^\circ$$

$$Z_{jKJkok} = 0,49\Omega\angle 42,70^\circ$$

Keskijännitekaapeleiden oikosulkuimpedanssi  $Z_{jKJkok}$  redusoidaan muuntajan alajännitepuolelle kertomalla muuntosuhteen neliöllä.

$$Z_{jKJkok,4kV} = \left(\frac{U_{1n}}{U_{2n}}\right)^2 * Z_{jKJkok,20kV} = \left(\frac{400}{20000}\right)^2 * 0,49\Omega\angle 42,70 = 0,196m\Omega\angle 42,70$$

## Muuntaja

Muuntaja kuvataan sijaiskytkennässä yleensä oikosulkuimpedanssilla  $Z_M$ . Se muodostuu muuntajan oikosulkuresistanssista ja -reaktanssista eli

$$Z_M = R_M + jX_M$$

Taulukossa 2. on esitetty yleisesti käytettyjen 20/0,4 kilovoltin jakelumuuntajien oikosulkuresistanssit, -reaktanssit, sekä nolaresistanssi ja -reaktanssi.

**Taulukko 2 20/0,4kV jakelumuuntajien resistanssit ja reaktanssit /9, s. 37./**

Teho kVA	$R_M$		$X_M$		$R_{M0}$	$X_{M0}$
	%	$\Omega$	%	$\Omega$	$\Omega$	$\Omega$
315	1,3	0,0065	4,2	0,021	0,007	0,022
500	1,1	0,0037	4,4	0,014	0,0041	0,014
800	0,89	0,0018	4,6	0,0092	0,0021	0,0096
1000	0,92	0,0015	4,9	0,0079	0,0018	0,0083
1250	0,84	0,0011	5,9	0,0076	0,0014	0,0081

Muuntajan oikosulkuimpedanssi prosentteina ( $Z_{M\%}$ ) on laskettu käyttäen seuraavia kaavoja:

$$Z_{M\%} = \sqrt{X_{m\%}^2 - R_{m\%}^2}$$

$$Z_{M\%} = \sqrt{4,9\%^2 - 0,92\%^2}$$

$$Z_{M\%} = 4,81\%$$

Muuntajan oikosulkuimpedanssi  $Z_M$  saadaan käyttäen seuraavaa kaavaa:

$$Z_M = \frac{Z_{M\%}}{100\%} * \frac{U_N^2}{S_N}$$

$$Z_M = \frac{4,81\%}{100\%} * \frac{20kV^2}{1MVA}$$

$$Z_M = 19,24\Omega$$

Muuntajan oikosulkuimpedanssi  $Z_M$  redusoidaan muuntajan alajännitepuolelle kertomalla muuntosuhteen neliöllä.

$$Z_{M0,4kV} = \left( \frac{U_{1n}}{U_{2n}} \right)^2 * Z_{M20kV} = \left( \frac{400}{20000} \right)^2 * 19,24\Omega = 7,696m\Omega$$

### **Pienjännitekaapelit**

Liittymän syöttökaapelin AXMK 4 x 240mm<sup>2</sup> pituus on 55 metriä ja valmistajan ilmoittamat ominaisuudet kaapeille ovat seuraavat:

Johtimen maksimi vaiheresistanssi pituusyksikkö kohden vaihtojännitteellä +70°C: 0,16 Ω/km

**Johtimen resistanssi: 8,8 mΩ**

Johtimen nollareaktanssi pituusyksikkö kohden: 0,082 Ω/km

**Johtimen nollareaktanssi 4,51 mΩ**

Johtimen induktanssi: 0,25 mH/km

Johtimen reaktanssi pituusyksikköä kohden saadaan laskettua johtimen induktanssista kaavalla

$$X_l = 2\pi fL = 2 * \pi * 50Hz * 0,25 * 10^{-3} H = 0,0785\Omega / km$$

Johtimen reaktanssi on siis 0,0785 Ω/km

**Syöttöjohtimien ollessa 55 metriä pitkiä johtimien reaktanssi on:**

$$X_{jPJ} = X_l * l = 0,0785\Omega / km * 0,055km = 4,317m\Omega$$

PEN –johtimen resistanssi pituusyksikköä kohden  $0,1 \Omega/\text{km}$

**PEN-johtimen resistanssi:  $5,5 \text{ m}\Omega$**

Johtimen impedanssi esitetään komponenttimuodossa

$$Z_j = (R + jX)$$

$$Z_j = (0,16\Omega + j0,0785\Omega) * 0,055 \text{ km}$$

$$Z_j = 9,8 \text{ m}\Omega \angle 26,13^\circ$$

Taulukossa 3. on esitetty verkon komponenttien oikosulkuresistanssit, -reaktanssit ja impedanssit 400 voltin jännitetasoon redusoituna.

**Taulukko 3 Verkon komponenttien oikosulkuresistanssit, -reaktanssit ja impedanssit**

	Oikosulkuresistanssi	Oikosulkureaktanssi	Oikosulkuimpedanssi
	R	X	Z
Taustaverkko	0	0,000001108	0,000001108
Keskijännitekaapelit	0,000116	0,0001532	0,000196
Muuntaja	0,0015	0,0079	0,007696
Syöttökaapeli	0,0088	0,0043175	0,0098
Yhteensä	0,010416	0,01237	0,01769

Verkon kokonaisimpedanssi

$$Z_{KOK} = Z_Q + Z_{JKJ} + Z_M + Z_j$$

$$Z_{KOK} = 0,001108 \text{ m}\Omega + 0,196 \text{ m}\Omega \angle 42,70^\circ + 7,696 \text{ m}\Omega + 9,8 \text{ m}\Omega \angle 26,13^\circ$$

$$Z_{KOK} = 17,22 \text{ m}\Omega \angle 14,97^\circ$$

## Suurin oikosulkuvirta

Kolmivaiheinen oikosulkuvirta pääkeskuksen liittymiskohdassa voidaan laskea, kun verkon impedanssi  $Z_{KOK}$  tiedetään.

Suurin oikosulkuvirta pääkeskuksen kiskostossa voidaan laskea seuraavan kaavan avulla

$$I_{k3}'' = \frac{c * U_n}{\sqrt{3} * Z_{KOK}}$$

$$I_{k3}'' = \frac{1,1 * 0,4 \text{ kV}}{\sqrt{3} * 17,22 \text{ m}\Omega \angle 14,97^\circ}$$

$$I_{k3}'' = 14,75 \text{ kA} \angle -14,97^\circ$$

Pääkeskuksen suurin oikosulkuvirta on siis 14,75 kiloampeeria, joka on hyvin lähellä sähköverkkoyhtiön verkostolaskentaohjelmiston laskema 14,8 kA.

### **Terminen oikosulkuvirta**

Ekvivalenttinen terminen oikosulkuvirta  $I_{TH}$  lasketaan kohdan 7.5.1.3 kaavan 28 mukaan.

$$I_{TH} = 14752A * \sqrt{0,08 + 0,89}$$

$$I_{TH} = 14529A$$

### **Dynaaminen oikosulkuvirta**

Sysäysoikosulkuvirta  $i_s$  lasketaan seuraavan kaavan mukaan

$$i_s = k\sqrt{2} * I_k''$$

sysäyskerroin  $k$  lasketaan seuraavalla kaavalla

$$k = 1,02 + 0,98 * e^{\frac{-3*R}{X}}$$

$$k = 1,02 + 0,98 * e^{\frac{-3*0,0104}{0,01237}}$$

$$k = 1,0986$$

$$i_s = 1,0986\sqrt{2} * 14,752kA$$

$$i_s = 22,92kA$$

## Pienin oikosulkuvirta

Yksivaiheisen oikosulkuvirran suuruuteen vaikuttavat verkon myötä- vasta- sekä nollaimpedanssit. Kaapelin resistanssit ja reaktanssit on aikaisemmin laskettu vastaamaan kaapelin pituutta, joten kaapelin pituus voidaan jättää kaavasta pois. Taustaverkon ja muuntajan oikosulkuresistanssit ja –reaktanssit on laskettu aikaisemmin ja ne löytyvät taulukosta 3.

$$I_{k1v} = \frac{c_{MIN} * 3 * U_N / \sqrt{3}}{\sqrt{(2 * (R_Q + R_M) + R_{M0} + 3(R_V + R_0))^2 + (2 * (X_Q + X_M) + X_{M0} + (2X_V + X_{V0} + 3X_0))^2}}$$

missä  $U_V$  on syöttävän verkon pääjännite (400V)

$R_Q$  on taustaverkon oikosulkuresistanssi (0  $\Omega$ )

$R_M$  on muuntajan oikosulkuresistanssi (1,5 m $\Omega$ )

$X_Q$  on taustaverkon oikosulkureaktanssi (1,108  $\mu\Omega$ )

$X_M$  on muuntajan oikosulkureaktanssi (7,9 m $\Omega$ )

$R_{M0}$  on muuntajan nollaresistanssi (1,8 m $\Omega$ )

$X_{M0}$  on muuntajan nollareaktanssi (8,3 m $\Omega$ )

$R_V$  on vaihejohtimen resistanssi (8,8 m $\Omega$ )

$X_V$  on vaihejohtimen reaktanssi (4,31 m $\Omega$ )

$X_{V0}$  on vaihejohtimen nollareaktanssi (4,51 m $\Omega$ )

$R_0$  on PEN - johtimen resistanssi (5,5 m $\Omega$ )

$X_0$  on PEN - johtimen reaktanssi (5,5 m $\Omega$ )

$$I_{k1v} = \frac{c_{MIN} * 3 * U_N / \sqrt{3}}{\sqrt{(2 * (0\Omega + 1,5m\Omega) + 1,8m\Omega + 3 * (8,8m\Omega + 5,5m\Omega))^2 + (2 * (0,001108m\Omega + 7,9m\Omega) + 8,3m\Omega + (2 * 4,31m\Omega + 4,51m\Omega + 3 * 5,5m\Omega))^2}}$$

$$I_{k1v} = \frac{0,95 * 3 * 400 / \sqrt{3}}{\sqrt{(0,0477\Omega)^2 + (0,0537)^2}}$$

$$I_{k1v} = 9,16kA$$

Pienin oikosulkuvirta on yksivaiheinen. Yksivaiheisessa vikatilanteessa vikavirran arvo on noin 9,2 kiloampeeria.

# Pääkeskuskaavio

<p>A muutos</p> <p>B muutos</p> <p>C muutos</p>		<p>D muutos</p> <p>E muutos</p> <p>F muutos</p>									
<p><b>SÄHKÖTEKNISET TIEDOT :</b></p> <p>1. NIINLISÄVÄINTE / -MRTA / -TAAJUUS . . . . . 400 V 1000 A 50 Hz</p> <p>2. TERMINEN OIKOSULUVAIKESTOISUUS . . . . . 20 KA</p> <p>3. TASALTTU- / ASEMIETTU TEHO / COSFII . . . . . kW _____ kW _____ cosφi</p> <p>4. OHJAUSJÄRJITTEIKIRKOT . . . . . EI <input checked="" type="checkbox"/> ON JÄRJITE 230 V VIRTAA _____ A</p> <p>5. AO-KIRKOT TAI JOHTIMET . . . . . L1/L1 <input type="checkbox"/> L1/L1/PE <input type="checkbox"/> L1/L2/L3/N/PE <input checked="" type="checkbox"/> L1/L2/L3/N/PE</p> <p><b>RAKENNETIEDOT :</b></p> <p>1. KESKUSLAU . . . . . <input checked="" type="checkbox"/> IERHO <input type="checkbox"/> KOTELO <input type="checkbox"/> KEHILKKO</p> <p>2. ASEMIETUSTAPA . . . . . <input type="checkbox"/> PIIRTA <input type="checkbox"/> LIIPPO KOTEL. LUOKKA IP S4</p> <p>3. KIRJAINIT . . . . . <input checked="" type="checkbox"/> LAITTA <input checked="" type="checkbox"/> SEIKÄ</p> <p>4. OHJAANT . . . . . <input type="checkbox"/> LUOKKO <input checked="" type="checkbox"/> SALPA</p> <p>5. LAITTEIKESK. POHJALEYTY . . . . . <input type="checkbox"/> AVONIN <input checked="" type="checkbox"/> PALOKESTÄVÄ</p> <p>6. MAALAU . . . . . <input checked="" type="checkbox"/> VÄRIKKO <input type="checkbox"/> BRUKOS</p> <p>7. MITAT . . . . . MAX. KORKEUS : 2000 LEVY : 2500 SYVY : 600</p> <p><b>KALUSTUSTIEDOT :</b></p> <p>1. KALUSTUSTYYPPI . . . . . <input checked="" type="checkbox"/> KAIRITEX <input type="checkbox"/> ULOSV. <input type="checkbox"/> ULOSOT.</p> <p>2. KALUSTUSTAPA . . . . . <input type="checkbox"/> YKSIKKO <input checked="" type="checkbox"/> KESKITETTY</p> <p>3. MERKKILAMPUT . . . . . <input type="checkbox"/> HIDKUI <input type="checkbox"/> HOHTU <input checked="" type="checkbox"/> LEDI</p> <p>4. HITTAUKSEI TOIMITTAJA . . . . . <input checked="" type="checkbox"/> SÄHKÖLÄITÖS <input type="checkbox"/> VALUUSTAJA</p> <p><b>KAAPELOINTI :</b></p> <p>1. SYÖTTÖKAAPELI . . . . . <input type="checkbox"/> YHÄKÄLTÄ <input checked="" type="checkbox"/> ALIÄÄLTÄ</p> <p>2. PAKKAAPELI . . . . . <input checked="" type="checkbox"/> YHÄKÄLTÄ <input checked="" type="checkbox"/> ALIÄÄLTÄ <input type="checkbox"/> KOLESIIN <input checked="" type="checkbox"/> RWIL</p> <p>3. OHJAUSKAAPELI . . . . . <input checked="" type="checkbox"/> YHÄKÄLTÄ <input checked="" type="checkbox"/> ALIÄÄLTÄ <input type="checkbox"/> KOLESIIN <input checked="" type="checkbox"/> RWIL</p> <p><b>TURHUUSMERKINNÄT :</b></p> <p>1. TURHUUSKILYET . . . . . <input checked="" type="checkbox"/> VALUMIÖRM. <input type="checkbox"/> ERILL.OHJE</p> <p>2. KOLEMIKINNÄT . . . . . <input checked="" type="checkbox"/> LIUCSEYÄ <input type="checkbox"/> KEHILKKOHT. <input type="checkbox"/> ERILL.OHJE</p> <p><b>MUUT TIEDOT :</b> <u>Pöytäkeskus voidaan toimittaa kokonaisuutena, eikä kullunkokoteleita tarvita.</u></p>											
<table style="width:100%; border: none;"> <tr> <td style="width:33%; border: none;"> <p>Lemmitinlinjainen Rakennustuotteet Oy Porrasalennentitendis</p> </td> <td style="width:33%; border: none;"> <p>Keskuskaavio Pöytäkeskus PK01</p> </td> <td style="width:33%; border: none;"> <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="font-size: 8px;">Sisätila tila 6-43m<sup>2</sup></td> <td style="font-size: 8px;">Korkeus 1,78</td> <td style="font-size: 8px;">Sähkösäähköt SÄH 2401</td> </tr> <tr> <td style="font-size: 8px;">Pöytäkeskus tila</td> <td style="font-size: 8px;">Pöytäkeskus tila</td> <td style="font-size: 8px;">Pöytäkeskus tila</td> </tr> </table> </td> </tr> </table>			<p>Lemmitinlinjainen Rakennustuotteet Oy Porrasalennentitendis</p>	<p>Keskuskaavio Pöytäkeskus PK01</p>	<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="font-size: 8px;">Sisätila tila 6-43m<sup>2</sup></td> <td style="font-size: 8px;">Korkeus 1,78</td> <td style="font-size: 8px;">Sähkösäähköt SÄH 2401</td> </tr> <tr> <td style="font-size: 8px;">Pöytäkeskus tila</td> <td style="font-size: 8px;">Pöytäkeskus tila</td> <td style="font-size: 8px;">Pöytäkeskus tila</td> </tr> </table>	Sisätila tila 6-43m <sup>2</sup>	Korkeus 1,78	Sähkösäähköt SÄH 2401	Pöytäkeskus tila	Pöytäkeskus tila	Pöytäkeskus tila
<p>Lemmitinlinjainen Rakennustuotteet Oy Porrasalennentitendis</p>	<p>Keskuskaavio Pöytäkeskus PK01</p>	<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="font-size: 8px;">Sisätila tila 6-43m<sup>2</sup></td> <td style="font-size: 8px;">Korkeus 1,78</td> <td style="font-size: 8px;">Sähkösäähköt SÄH 2401</td> </tr> <tr> <td style="font-size: 8px;">Pöytäkeskus tila</td> <td style="font-size: 8px;">Pöytäkeskus tila</td> <td style="font-size: 8px;">Pöytäkeskus tila</td> </tr> </table>	Sisätila tila 6-43m <sup>2</sup>	Korkeus 1,78	Sähkösäähköt SÄH 2401	Pöytäkeskus tila	Pöytäkeskus tila	Pöytäkeskus tila			
Sisätila tila 6-43m <sup>2</sup>	Korkeus 1,78	Sähkösäähköt SÄH 2401									
Pöytäkeskus tila	Pöytäkeskus tila	Pöytäkeskus tila									









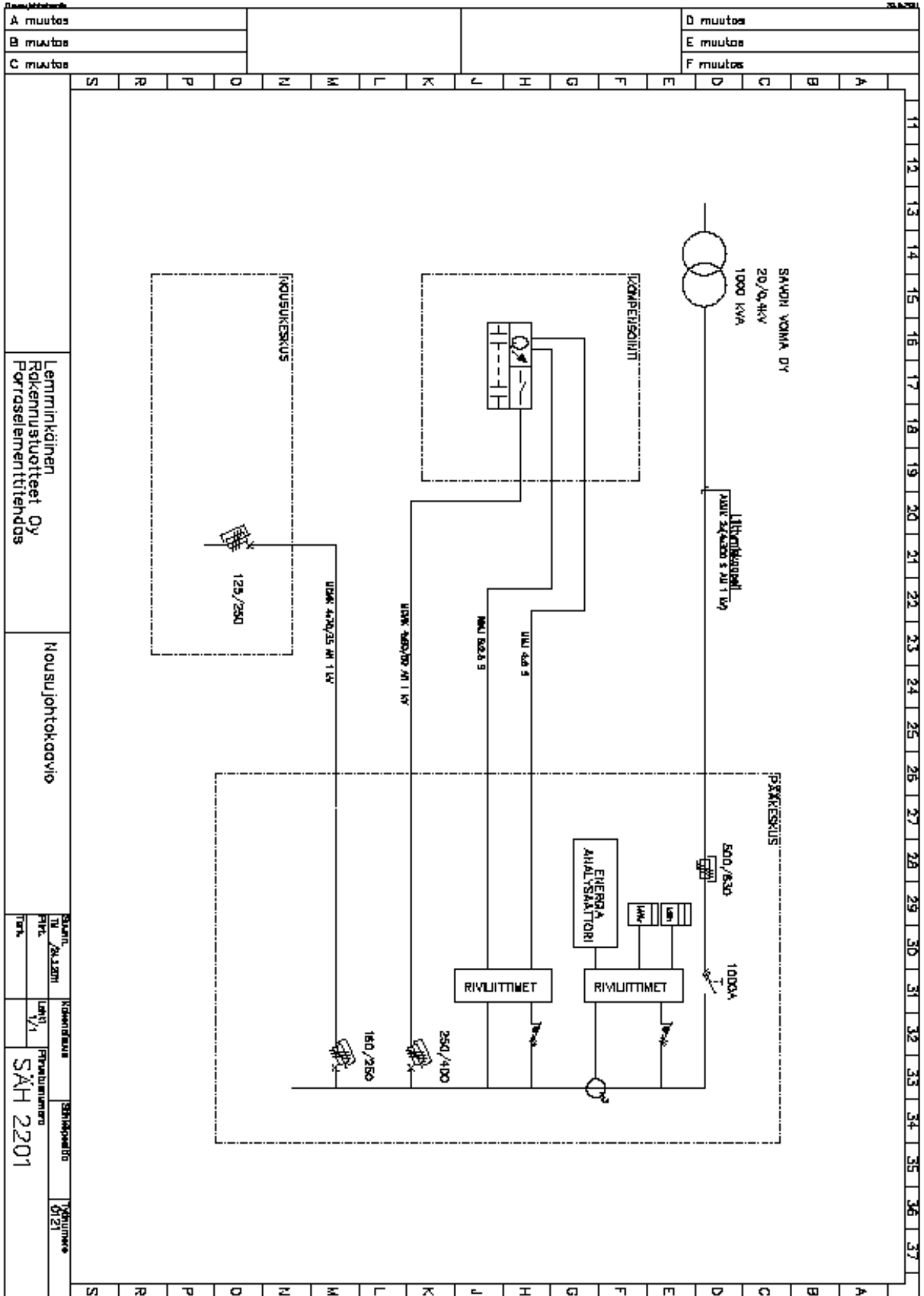








# Nousujohtokaavio



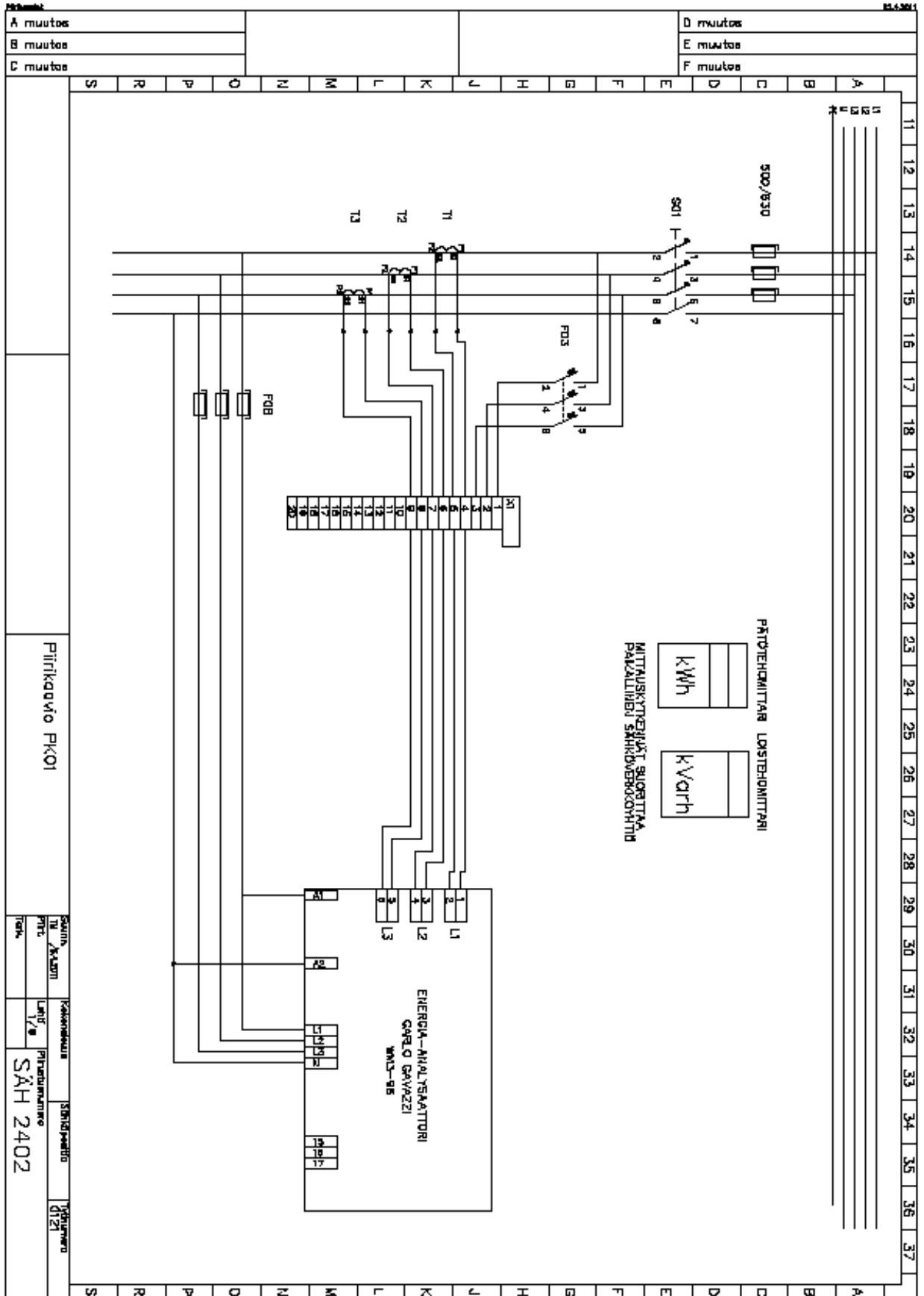
Lemminkäinen  
Rakennustuotteet Oy  
Parrasallementitehdas

Nousujohtokaavio

Kohde	Rakennus	Sijainti	Yhteyshenkilö
TU-201201	1/1	Finland	SÄH 2201
1/1			0/21



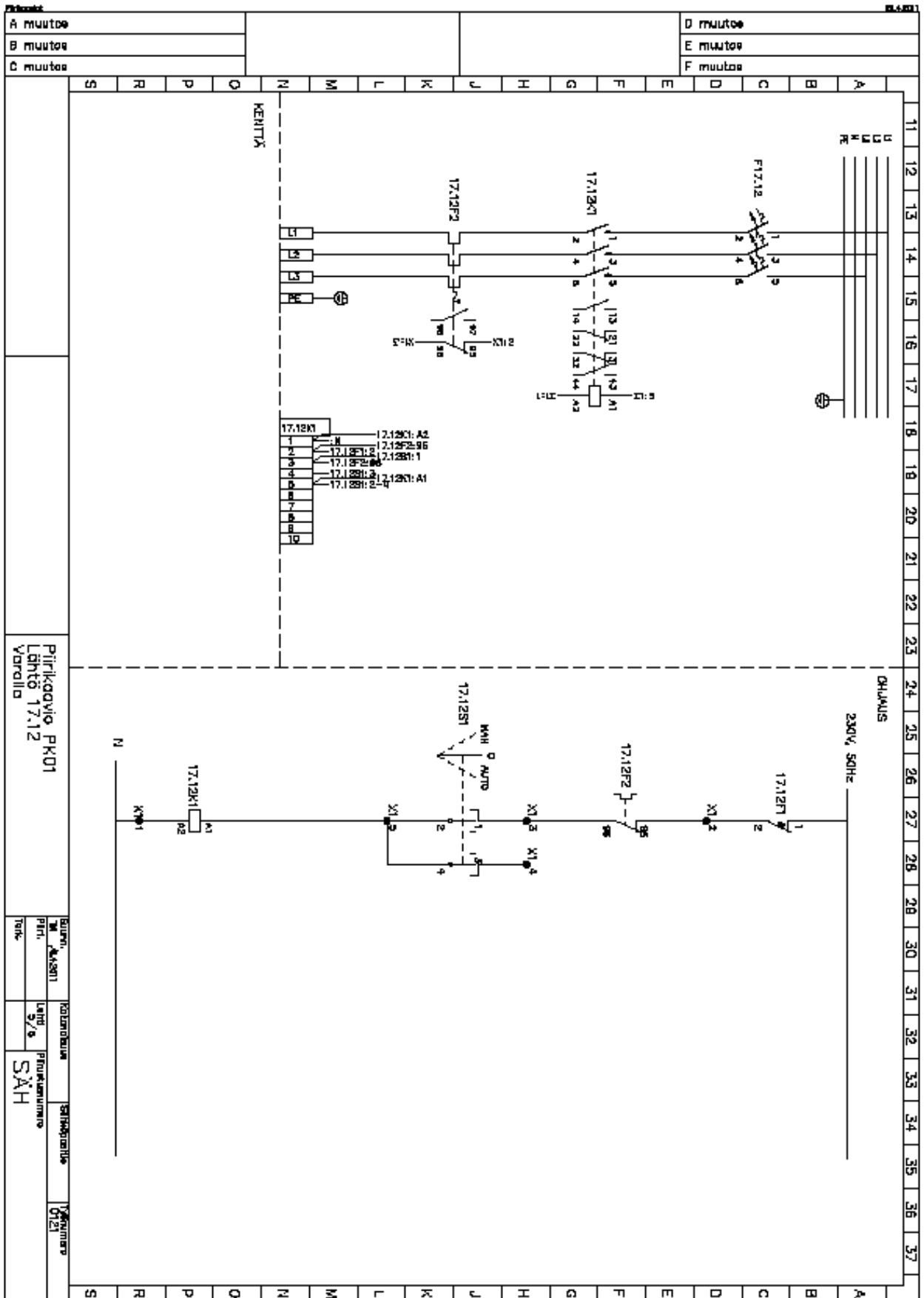
# Piirikaaviot











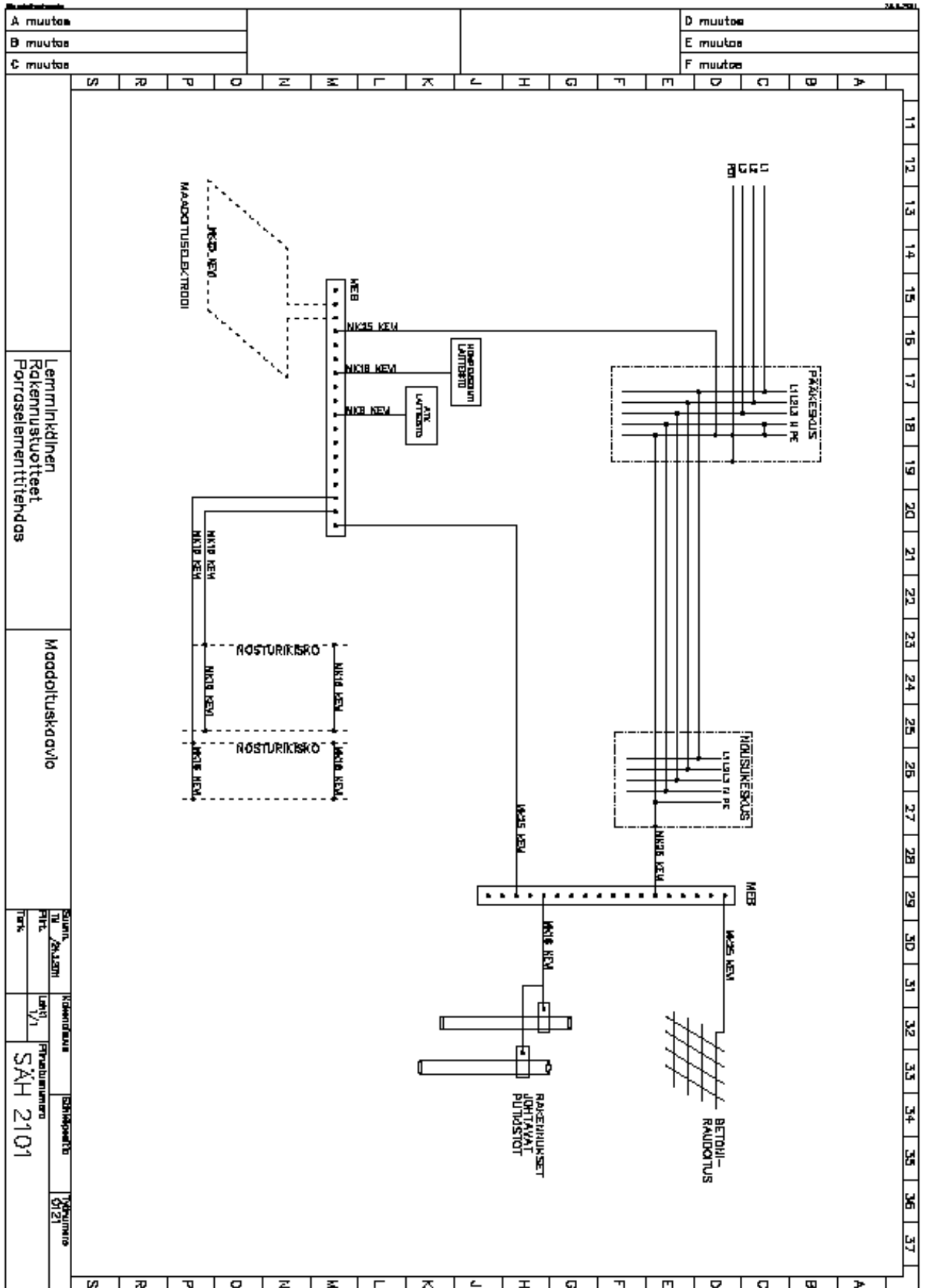








# Maadoituskaavio

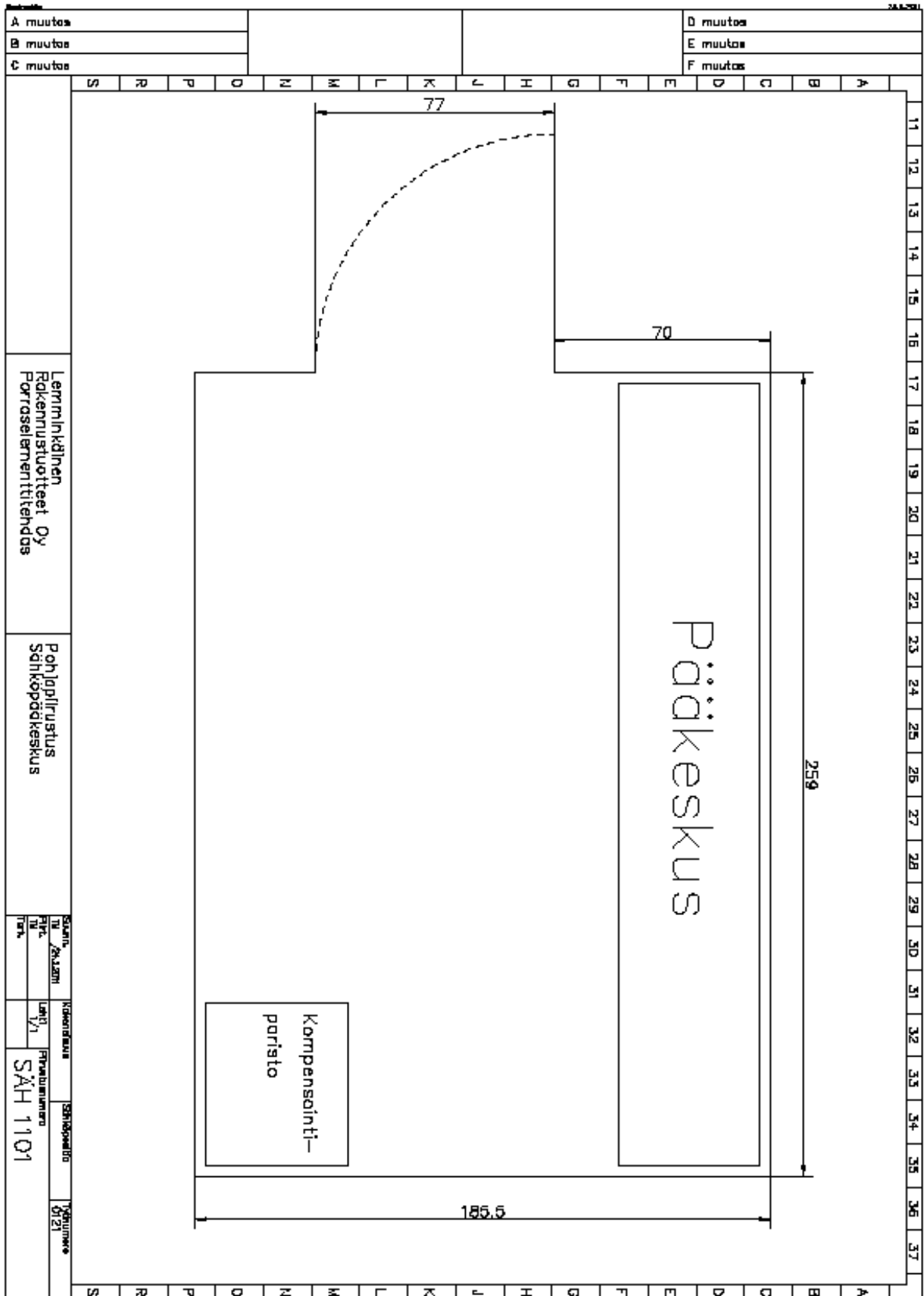


Lemminkäinen  
Rakennustuotteet  
Porraslementtiendäs

Maadoituskaavio

Suunn. TU 26.1.2011	Kokonaissa 1/1	Sähköpiirto
Pilt. 1/1	Pöytänumero	Yhtymäno
	SÄH 2101	

# Sähkötilan pohjapiirustus



## Tarjouspyyntö – Pääkeskuksen valmistus

Tarjouspyyntö	Pyydämme teiltä tarjousta tarjouspyyntöasiakirjojen mukaisesta sähköpääkeskuksen valmistamisesta ja toimittamisesta.
Tilaaaja	Lemminkäinen Rakennustuotteet Oy Suonenjoen Porraselementtitehdas Mansikkaraitti 9 77600 Suonenjoki
Sisältö	Porraselementtitehtaan pääkeskuksen valmistus suunnitelmien mukaisesti
Tarjouksen anto	Tarjoukset toimitetaan mahdollisimman pian suunnittelijalle sähköpostitse osoitteeseen <a href="mailto:tuomo.makihannu@gmail.com">tuomo.makihannu@gmail.com</a> . Tarjouksessa annetaan kokonaishinta arvonlisävero eriteltynä. Tarjouksessa on esitettävä myös toimitusaika, sekä toimitusehdot.
Valintaperuste	Valinta tehdään tarjoushinnan mukaan, jonka perusteella valitaan tilaajalle halvin tarjouspyyntöasiakirjojen mukainen vaihtoehto.
Ilmoitukset päätöksestä	Kaikille tarjouspyynnön jättäneille ilmoitetaan päätöksestä sähköpostitse
Aikataulu	Työn aloitus heti sopimuksen tekemisen jälkeen
Toimitus	Pääkeskus voidaan toimittaa yhtenäisenä, eikä kuljetuskatkoksia tarvita

Tiedustelut

Tarjouspyyntöä koskeviin tiedusteluihin vastaa kunnossapitopäällikkö Pasi Makkonen 040-582 6264 tai sähköasiantuntija Marko Haimila 040-037 1658

Tarjouspyyntöasiakirjat

Tarjouspyyntöasiakirjat on samassa sähköpostiviestissä liitteenä tämän tarjouspyynnön ohessa. Tähän tarjouspyyntöön liittyviä asiakirjoja ovat:

- Pääkeskuksen pääkaavio
- Pääkeskuksen piirikaaviot
- Keskustilan pohjapiirros

Ystävällisin terveisin

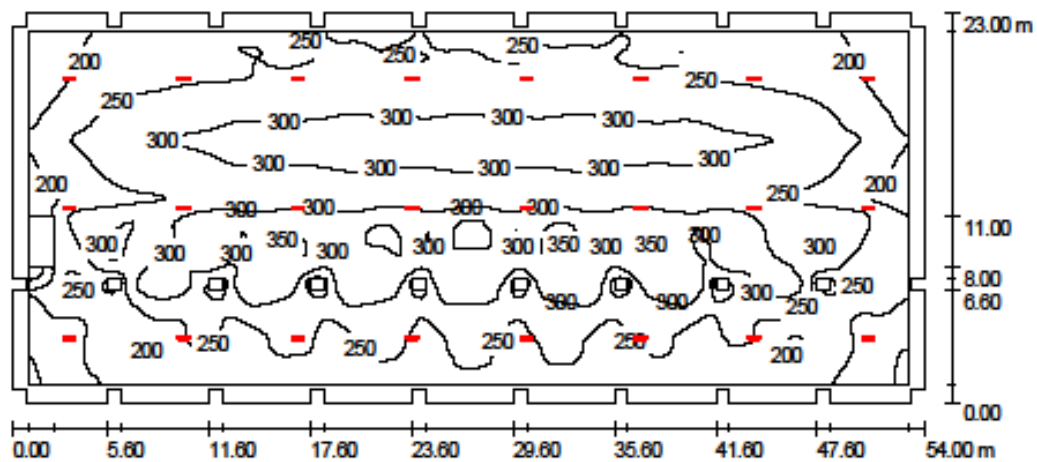
Tuomo Mäkihannu  
Suunnittelija

# Valaistussuunnitelma

**Mansikkaraitti 9 Valaistussuunnitelma**
**DIALux**

08.05.2011

Tekijä Tuomo Mäkihannu  
 Puhelin 0407703740  
 Faksi  
 Sähköpostiosoite tuomo.makihannu@gmail.com

**Hallin laajennusosa / Yhteenveto**


Tilan korkeus: 10.000 m, Asennuskorkeus: 10.000 m

 Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava  
1:387

Pinta	$\rho$ [%]	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$
Käyttötaso	/	268	121	361	0.457
Lattia	27	245	45	344	0.183
Katot (49)	27	78	15	513	/
Seinät (22)	27	117	18	231	/

**Käyttötaso:**

Korkeus: 1.000 m  
 Rasteri: 128 x 128 Pisteet  
 Reuna-alue: 1.000 m

**Luettelo valaisimista**

Numero	Kappale	Tunnus (Korjaustekijä)	$\Phi$ [lm]	P [W]
1	24	IVALO 8241 V3 MT Laajasäteilijä (1.000)	35000	460.0

Yhteensä: 840000 11040.0

 Ominainen verkkoon kytketty kuorma:  $8.89 \text{ W/m}^2 = 3.34 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$  (Pohjapinta-ala:  $1242.00 \text{ m}^2$ )

## Mansikkaraitti 9 Valaistussuunnitelma

DIALUX

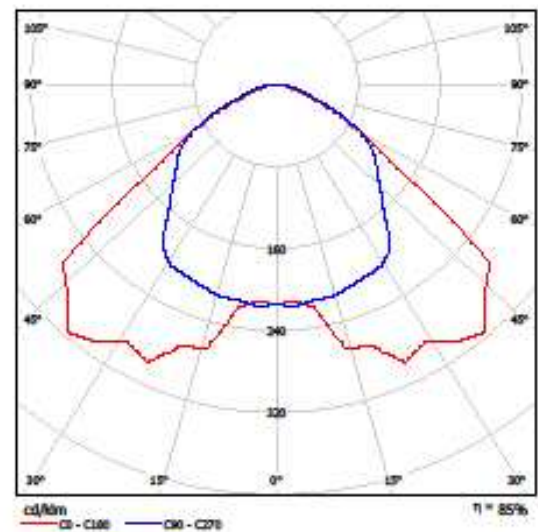
08.05.2011

Tekijä Tuomo Mäkihannu  
 Puhelin 0407703740  
 Faksi  
 Sähköpostiosoite tuomo.makihannu@gmail.com

## IVALO 9241 V3 MT Laajasäteilijä / Valaisintietoarkki



Valaistu alue 1:



Valaisinten luokittelu CIE: 100

Elektroniikkakomponenttien valovirtakoodi: 48 88  
 98 100 84

Ta 40°C  
 IP64  
 Paino, kg 12,5

## Rakenne

- Suojettu, pölysuodattimella varustettu, painekestetty valaisin
- Runko epoksoitua, puserotettua alumiinia, väri harmaa (RAL 7040)
- Kupu tarkkaistua lasiosaa
- Kuvun kehukset ja sulkuosivat epoksoitua alumiinia
- Kompensoitu

## Asennus

- Pinta-asennus
- Valaisin voidaan asentaa suoraan kattopintaan, ripustuskiskoon tai seinään

## Tarvikkeet

- Ketjuripustus 6020
- Portaaton seinäkinnike 6035 (2 kpl)
- Seinäkinnike 6060 (2 kpl)
- Seinäkinnike 6061
- Pylväskinnike 6063
- Putkikinnike 6065
- Vasjerikinnike 6079
- Portaaton kaldekinnike 6505.076.00

## Kytkenä

- Hoikköliivisteet -o- 5 x 2,5 mm<sup>2</sup> tai 1,5 mm johto ja pistotulppa

## Lisätiedot

- Saatavana myös malliasialla

Valaistu alue 1:

Näkökyvykset UGR:N mukaan													
		70	70	50	50	30	30	70	50	50	30	30	
n Sätei		50	50	50	30	30	30	50	50	50	30	30	
n Laitte		50	70	30	30	30	30	50	70	30	30	30	
Tila laite X	Y	Näkökyvykset Langan leikkauks						Näkökyvykset Langan leikkauks					
		30	30	31.1	31.3	31.3	31.6	31.8	30.1	31.4	30.4	31.8	31.8
30	40	31.3	31.4	31.6	31.7	31.8	30.4	31.7	30.9	31.8	31.8	31.3	
40	30	31.3	31.4	31.6	31.6	31.8	30.7	31.7	31.0	31.8	31.8	31.3	
40	40	31.3	31.3	31.6	31.6	31.8	30.8	31.7	31.1	31.8	31.8	31.3	
40	50	31.3	31.3	31.6	31.5	31.8	30.8	31.7	31.1	31.8	31.8	31.3	
120	30	31.3	31.3	31.7	31.5	31.8	30.8	31.7	31.2	31.8	31.8	31.3	
40	30	31.3	31.6	31.8	31.9	31.1	30.7	31.6	31.1	31.1	31.1	31.4	
30	30	31.8	31.7	31.2	31.0	31.4	31.3	31.3	31.7	31.7	31.5	31.8	
40	30	31.9	31.7	31.3	31.0	31.4	31.5	31.5	31.6	31.6	31.6	31.8	
40	40	31.9	31.6	31.3	31.0	31.4	31.6	31.5	31.0	31.6	31.6	31.8	
40	50	31.9	31.6	31.4	31.0	31.4	31.8	31.3	31.1	31.7	31.1	31.1	
120	30	31.0	31.5	31.4	31.0	31.4	31.7	31.3	31.1	31.7	31.1	31.1	
40	40	31.9	31.5	31.3	31.0	31.3	31.5	31.1	31.0	31.5	31.9	31.9	
40	50	31.0	31.5	31.4	31.0	31.4	31.7	31.3	31.1	31.6	31.1	31.1	
40	120	31.0	31.5	31.5	31.0	31.4	31.8	31.3	31.2	31.2	31.7	31.1	
120	30	31.1	31.5	31.6	31.0	31.3	31.9	31.3	31.4	31.7	31.3	31.3	
40	40	31.9	31.4	31.2	31.0	31.3	31.5	31.0	31.9	31.4	31.9	31.9	
40	50	31.0	31.4	31.4	31.0	31.4	31.7	31.1	31.1	31.6	31.6	31.8	
40	120	31.0	31.4	31.5	31.0	31.4	31.8	31.2	31.3	31.6	31.1	31.1	
Valaistusalueen pituus valaistun alueen leveyden suhteen (%)													
S = 1.00		+0.6 / -0.6		+0.2 / -0.3									
S = 1.50		+1.6 / -1.3		+1.4 / -1.3									
S = 2.00		+2.5 / -1.6		+2.3 / -1.6									
Valaistuskäyttö		000		000									
Korjautus		11.7		11.7									
Loppuvalaistusalueen pituus valaistun alueen leveyden suhteen (%)													

**Mansikkaraitti 9 Valaistussuunnitelma****DIALux**

08.05.2011

Tekijä Tuomo Mäkihannu  
Puhelin 0407703740  
Faksi  
Sähköpostiosoite tuomo.makihannu@gmail.com

**Hallin laajennusosa / Huoltokaavio**

Pysyäkseen toimintakelpoisena täytyy valaistusjärjestelmä huoltaa säännöllisesti. Vain säännöllisillä huolloilla voidaan lampujen iästä johtuva himmeneminen pitää hyväksyttävissä rajoissa. EN 12464:ssa annetut valaistuksen minimiarvot ovat huoltoarvoja. Ne perustuvat uuteen arvoon (arvo asennettaessa lampua) ja määriteltävään huoltoväliin. Sama pätee myös DIALux:issa määriteltyihin arvoihin. Ne voidaan saavuttaa vain jos huoltosuunnitelma toteutetaan myös.

**Yleisiä tilan tietoja**

Tilan ympäristöehdot:  
Tilan huoltoväli:

Likainen  
3.0vuoden välein.

**Kentäksi järjestely / IVALO 9241 V3 MT Laajasäteilijä**

Tilan pintojen aiheuttamien heijastusten vaikutus:

keski (1.6 < k <= 3.75)

Valaistustyyppi:

Suoraan

Valaisimien huoltoväli:

Vuosittain

Valaisintyyppi:

Suljettu IP2X (CIE:n mukaan)

Käyttöaika vuodessa (tuhansissa tunneissa):

2.58

Lamppujen vaihtoväli:

Vuosittain

Lampputyyppi:

Loisteputki (CIE:n mukaan)

Välitön viallisten lampujen vaihto:

Kyllä

Tilan huoltokerroin:

0.94

Valaisimen huoltokerroin:

0.77

Lampun sähköhuoltokerroin:

0.93

Lampun käyttöikäkerroin:

1.00

**Huoltokerroin:**

**0.67**

Noudata valaisinten ja lampujen huollon osalta valmistajan antamia ohjeita.