



## Käyttöönotto ja käyttöönottomittaukset

Harri Suojärvi

Sähkötekniikan koulutusohjelma  
Sähkövoimatekniikka  
Insinööri (AMK)

KEMI 2013

## ALKUSANAT

Haluaisin kiittää Sähköpooli Oy:ltä Jari Surakkaa hänen näkemästään vaivasta työtä kohden. Lisäksi kiitän työn ohjaajaa, Antero Martimoa Kemi-Tornion ammattikorkeakoulusta asiantuntevasta avusta.

Kemissä 14.5.2013

Harri Suojärvi

## TIIVISTELMÄ

## KEMI-TORNION AMMATTIKORKEAKOULU, Tekniikka

Koulutusohjelma:	Sähkövoimatekniikan koulutusohjelma
Opinnäytetyön tekijä:	Harri Suojärvi
Opinnäytetyön nimi:	Käyttöönotto ja käyttöönottomittaukset
Sivuja (joista liitesivuja):	59 (7)
Päiväys:	15.5.2013
Opinnäytetyön ohjaaja:	Ins. Antero Martimo Kemi-Tornion AMK
<p>Opinnäytetyö tehtiin Sähköpooli Oy:lle, joka on paikallinen sähköurakointiyritys. Tavoitteena oli selvittää käyttöönottomittauksien tekeminen erityisesti käyttöönottomittauksia tehtäessä Länsi-Pohjan keskussairaalan laajennusprojektiin.</p> <p>Työn alussa selvitettiin ensin yleisesti asennusmääräyksiä vahvavirran, heikkovirran sekä maadoituksen osalta. Tämän lisäksi tutkittiin standardin vaatimia muita velvoitteita, joita sairaalaympäristö vaatii sähkönjakelulta.</p> <p>Aineistona käytettiin pääsääntöisesti standardeja ja st-kortistoja. Hyvänä apuna oli Sähköinfon tuottama kirjasarja Sähköasennukset sekä muutama opinnäytetyö.</p> <p>Opinnäytetyössä tehtiin kattava kokonaisuus koskien käyttöönottoa sekä käyttöönottomittauksia. Sairaalaympäristön standardit, koskien sähköasennuksia, saatiin kootua hyvin yhteen. Tämän lisäksi käyttöönottomittauksista saatiin laadittua ohjeet mitaajille vaihe-vaiheelta.</p>	
Asiasanat: käyttöönotto, käyttöönottomittaukset, sairaala.	

## ABSTRACT

KEMI-TORNIO UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES, Technology

Degree programme:	Electrical Engineering
Author:	Harri Suojärvi
Thesis title:	Implementation and Its Measurements
Pages (of which appendixes):	59 (7)
Date:	May 15, 2013
Thesis instructor:	Antero Martimo, Engineer
<p>This final project was done for Sähköpooli Oy, which is a local electricity contract company. The objective was to find out how to do measurement of implementations especially at the extension building of Länsi-Pohja Central Hospital.</p> <p>To start with, general installation regulations of power current, weak current and grounding were examined. Other obligations also required by different standards that a hospital environment presumes from electricity distribution have been studied.</p> <p>The standards and st-card indexes were the main material sources. Series of books called Sähköasennukset produced by Sähköinfo together with other theses were a good help, too.</p> <p>This final project formed a wide wholeness of implementation and its measurements. The standards of electrical installations in hospital environment were aggregated well. On top of this, step by step guidelines of the measuring of the implementations were established for measurers.</p>	
<p>Keywords: implementation, measurements, hospital.</p>	

## SISÄLLYS

ALKUSANAT .....	2
TIIVISTELMÄ .....	3
ABSTRACT .....	4
SISÄLLYS .....	5
KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET .....	7
1 JOHDANTO .....	8
2 VAHVAVIRTATEORIA .....	9
2.1 Vahvavirtastandardit ja asennusmääräykset .....	9
2.2 Vahvavirta-asennusten määräykset G01-sähköluokassa.....	11
2.2.1 Suojausmenetelmät .....	11
2.2.2 Turvalaistus .....	12
2.3 Maadoituksen standardit ja asennusmääräykset.....	12
2.3.1 TN-järjestelmä.....	13
2.3.2 IT-Järjestelmä.....	15
2.4 Maadoitusjärjestelmän mitoitus .....	15
2.5 Maadoitus sairaalaympäristössä.....	18
3 TURVASYÖTTÖJÄRJESTELMÄT.....	20
3.1 Turvajärjestelmän mitoitus.....	22
3.2 Varavoimallaitoksen mitoitus .....	23
3.3 UPS-varasyöttöjärjestelmä.....	24
3.3.1 UPS-mitoitus .....	24
3.3.1.1 Yliaaltojen vaimentaminen ja kompensointi.....	25
4 YLEISKAPELOINNIN TEORIA.....	26
4.1 Yleiskaapeloinnin standardit ja asennusmääräykset .....	26
4.1.1 Yleiskaapeloinnin suojaus.....	27
4.1.2 Valokaapeli .....	28
5 MITOITUS.....	31
5.1 Muuntajan mitoitus .....	31
5.2 Kuormitettavuus.....	31
5.3 Oikosulkuvirrat .....	35
5.3 Jännitteenalenema .....	35
6 KÄYTTÖÖNOTTOMITTAUSTEN SUORITUS.....	36
6.1 Eristysresistanssin mittaaminen .....	36

6.2 Suojajohtimen jatkuvuus.....	38
6.3 Syötön automaattinen poiskytkentä .....	38
6.3.1 Vikavirtasuojien testaus .....	39
6.4 Kiertosuunta ja napaisuus .....	40
7 MITTAUSSUUNNITELMA .....	41
8 KÄYTTÖÖNOTTOMITTAUS .....	43
8.1 Eristysresistanssinmittaus .....	43
8.2 Suojajohtimen jatkuvuus.....	43
8.3 Oikosulkusuojaus .....	44
8.4 Kosketusjännite-ehdot.....	46
8.5 Jännitteen alenema .....	46
8.6 Sairaalaympäristön lisävaatimukset.....	47
8.7 Mittauspöytäkirja .....	48
9 POHDINTA .....	50
LÄHDELUETTELO.....	51
LIITELUETTELO .....	52

## KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

IEC	International Electrotechnical Commission, sähköalan kansainvälinen standardisoimisjärjestö
CENELEC	European Committee For Electrotechnical Standardization, eurooppalainen sähköalan standardisoimisjärjestö
SFS	Suomen standardisoimisliitto
TN-S	Jakelu- ja käyttöjärjestelmä, jossa on erillinen nolla- ja suo- jamaadoitusjohdin.
TT-järjestelmä	Jakelu- ja käyttöjärjestelmä, jossa yksi piste on maadoitettu ja sähkölaitteistojen jännitteelle alttiit osat on maadoitettu erikseen maadoituselektrodin avulla.
IT-järjestelmä	Jakelu- ja käyttöjärjestelmä, jossa ei ole suoraan maadoitettu mitään jännitteistä osaa, mutta sähkölaitteiston jännitteiset osat on maadoitettu.
UPS	Uninterruptible Power Supply, keskeytymätön sähkönsyöttö
SELV	Separated or safety extra-low voltage, pienoisjännite piiri, alle 50 V DC ja alle 120 V AC, maasta erotettu
PELV	Protected extra-low voltage, pienoisjännite piiri, alle 50 V DC ja alle 120 V AC, maapotentiaaliin kytketty järjestelmä
FELV	Functional extra-low voltage, , pienoisjännite piiri, alle 50 V DC ja alle 120 V AC, ei toiminnallisista syöistä täytä SELV- tai PELV-vaatimuksia.

## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tavoitteena on luoda kattava kokonaisuus käyttöönottomittauksista sekä teoriapaketti asennusstandardeista. Asioita on käsitelty yleisellä tasolla sekä tämän lisäksi tarkasteltu standardeita erityisesti sairaalaympäristöä silmällä pitäen.

Opinnäytetyön aiheen mahdollisti Sähköpooli Oy ja aihe liittyy Länsi-Pohjan keskussairaalan laajennuksen käyttöönottomittauksiin. Sairaala on haastava ympäristö tehdä sähköasennuksia sekä käyttöönottoa. Sairaalaympäristöön liittyy huomattavan paljon omia asennusmääräyksiä. Sairaala jaetaan kolmeen erilaiseen luokitusryhmään, jonka mukaan määräytyy yleissähköistys sekä maadoituksen asennusmääräykset.

Sähköpooli Oy on paikallisena yrityksenä erikoistunut haasteellisiin työkohteisiin, kuten sairaalaympäristöihin. Sähköpooli on yrityksenä tehnyt erilaisiin sairaalaympäristöihin useita asennuksia Kemi-Tornion alueella jo vuosien ajan. Yritys tunnetaan laadukkaana ja luotettavana urakoitsijana vaativissa kohteissa.



## 2 VAHVAVIRTATEORIA

### 2.1 Vahvavirtastandardit ja asennusmääräykset

Suomessa sähköalan standardit perustuvat pääsääntöisesti maailmanlaajuisiin IEC tai eurooppalaisiin CENELEC standardeihin. Keskeisimmät standardit ovat pienjännitesähköasennuksia koskeva SFS 6000, suurjännitesähköasennuksia koskeva SFS 6001 sekä sähköturvallisuutta koskeva SFS 6002. (Sähköala.fi www-sivut 2013, hakupäivä 16.1.2013)

Tärkeimmät vahvavirtastandardit liittyvät kosketusjännite-ehtoihin, oikosulkusuojaukseen sekä kuormituksiin. Kaikilla standardeilla ja määräyksillä pyritään takaamaan turvallinen asennustapa sekä se, ettei asennuksista aiheudu kenenkään terveydelle tai omaisuudelle vaaraa. (KTM 14.6.1996/410 5§)

Kuormituksia määrittelemisessä on otettava huomioon asennuksen luotettavuus ja taloudellisuus. Tämän lisäksi lämpeneminen sekä jännitteenalenema tulee huomioida kuormitettavuudessa. Kuormituksia määriteltäessä voidaan huomioida osakuormitusten eriaikaisuus eli tasaus.

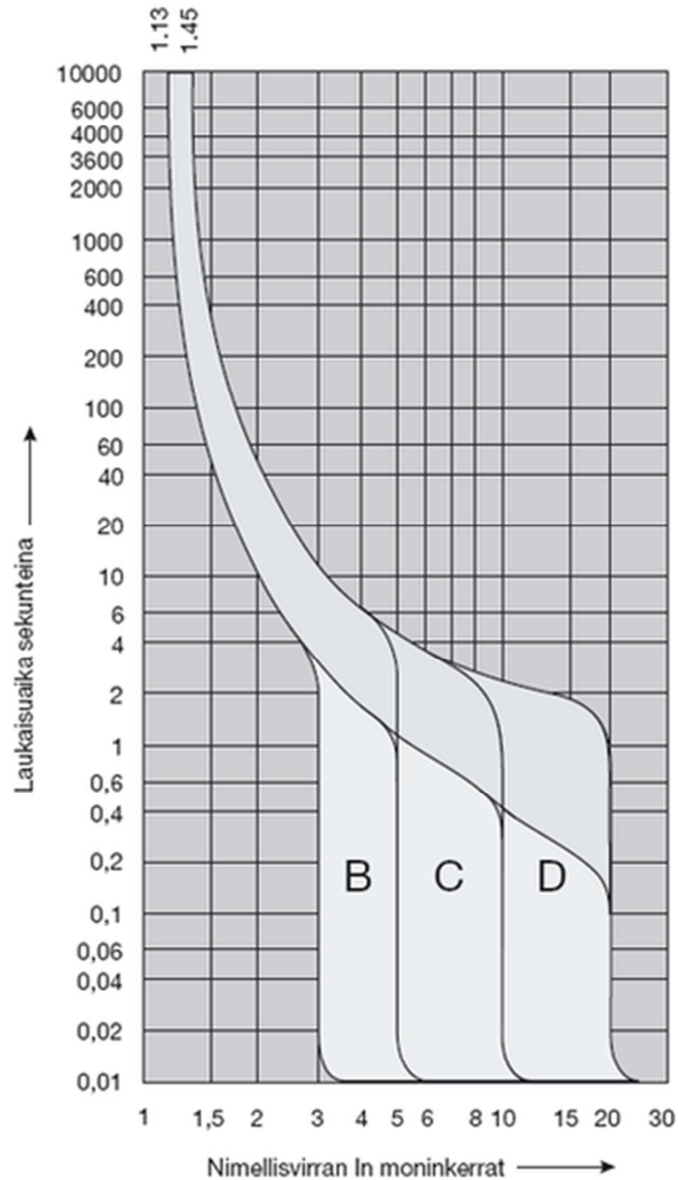
Kosketusjännite-ehdoissa vaaditaan, että vaihtosähköjärjestelmissä käytetään lisäsuojana mitoitusvirraltaan enintään 30 mA:n vikavirtasuojaa seuraavissa tilanteissa:

- mitoitusvirraltaan enintään 20 A tavanomaisia maallikoiden käyttämiä pistorasioita
- ulkona käytettävää, mitoitusvirraltaan enintään 32 A pistorasiaa tai siirrettävää laitetta.

Vikavirtasuojaus voidaan jättää pois, mikäli pistorasia on määrätty erityiselle laitteelle (esim. jääkaappi, pyykinpesukone) tai pistorasiaa käytetään ammattihenkilön tai opastetun henkilön valvomana teollisissa tai kaupallisissa rakennuksissa. (SFS 6000-4-411.33, 125)

Oikosulkusuojaukseen käytetään useimmiten automaattisulakkeita. Sulakkeet lajitellaan niiden maksimivirran sekä laukaisuajan mukaan. Tyypillisiä sulakkeita pienjänniterakennuksissa ovat C- ja B-tyyppien automaattisulakkeet.

Kuva 1 esittää B-, C-, ja D-tyyppien sulakkeiden laukaisukäyrän.



Kuva 1. Sulakkeiden laukaisukäyrä (Utupowel www-sivut 2013, hakupäivä 2.5.2013)

Sulakkeiden valinnassa tulee huomioida asennuksessa selektiivisyyttä. Selektiivisyydellä tarkoitetaan, että sulakkeet kulkevat portaittain. Pääkeskuksella on suurin sulake, josta eteenpäin sulakekoko pienenee. Selektiivisyydellä pyritään vikatapauksissa rajaamaan laukeava alue mahdollisimman pieneksi. Samalla helpotetaan vian etsintää.

Jännitteenalenemasta kertova standardi (SFS6000-5-525) vaatii, ettei alenema saa olla sähköasennuksen liittymiskohdan ja sähkölaitteen välillä suurempi kuin 4 % nimellisjännitteestä. Alenema lasketaan kaavan 8 mukaan. Poikkeuksena voidaan kuitenkin hyväksyä moottorit käynnistyksen aikana ja sellaisissa sähkölaitteissa joiden kytkentävirta on suuri. (SFS6000-5-525, 231)

## 2.2 Vahvavirta-asennusten määräykset G01-sähköluokassa

### 2.2.1 Suojausmenetelmät

Terveystieteiden rakennuksissa, joissa on lääkintätiloja, on käytettävä TN-S- järjestelmää. TN-S- järjestelmä on lisäksi varustettava vikavirtavaltavontajärjestelmällä. Vikavirtasuojauksen poiskytkentäaika vaihejännitteen ollessa 230 V on enintään 0,4 s.

Ryhmien 1 ja 2 lääkintätiloissa enintään 2,5 metrin korkeudella lattiasta sekä 1,5 metrin etäisyydeltä potilaasta olevien sähkölaitteiden on käytettävä vikavirtasuojakytкимиä joiden nimellistoimintavirrat ovat:

- 1)  $\leq 0,03$  A virtapiireille, ylivirtasuojan ollessa enintään 32 A
- 2)  $\leq 0,3$  A virtapiireille, ylivirtasuojan ollessa yli 32 A.

Vähintään 2,3 metrin korkeudella olevia yleisvalaisimia ei kuitenkaan tarvitse suojata erikseen vikavirtasuojakytkimellä. (SFS 4372, 7)

Lääkintätiloissa valaisimet on ryhmiteltävä vähintään kahteen virtapiiriin, joista toisen on tultava turvasyöttöjärjestelmästä.

Lisäpotentiaalintasauskisko ja suojakisko tulee yhdistää toisiinsa ominaisuuksiltaan riittävällä, ainakin  $16 \text{ mm}^2$  Cu suojajohtimella.

Lisäksi lisäpotentiaalintasauskiskoon tulee yhdistää mm:

- hoitoalueella olevia laitteita syöttävien pistorasioiden suojakoskettimet
- metalliset varustekiskot
- vesi-, ilma-, kaasu-, lämpö-, ja imujärjestelmien putkistot
- sellaiset metalliosat, joihin voidaan tarttua käsin.

Kaikki samanlaiset johtavat metalliosat esim. ilmastointiputket liitetään toisiinsa ja tuodaan yhdellä johtimella potentiaalintasauskiskoon.

Yhteen ryhmäjohtoon ei pitäisi liittää enempää kuin 12 kpl 1-osaisia, 6 kpl 2-osaisia tai 4 kpl 3-osaisia pistorasioita. On syytä soveltaa lukumääriä myös 3-vaiheryhmillä. Lääkintätiloissa pistorasioiden jatkoliitosten määrä olisi rajoitettava kuuteen. (SFS 4372, 12)

### 2.2.2 Turvavalaistus

Turvavalaistuksen minimivalaistus on syötettävä turvasyöttöjärjestelmästä seuraavissa tiloissa sekä poistumisteillä:

- poistumistiet  
*0,2 metrin tasolla lattiasta keskiviivan kohdalla valaistuksen on oltava vähintään 1 lx ja portaiden ja tasomuutosten kohdalla 2 lx.*
- merkkivalaistus
- kytkinlaitos- ja pääkeskustilat  
*Valaistuksen oltava vähintään 15 lx.*
- tilat, jotka ovat tarkoitettu tärkeisiin palvelutoimintoihin  
*Jokaisessa huoneessa on ainakin yhtä valaisinta syötettävä turvasyöttöjärjestelmästä.*
- ryhmän 1 ja 2 lääkintätilat.  
*Jokaisessa huoneessa on ainakin yhtä valaisinta syötettävä turvasyöttöjärjestelmästä. (SFS 4372, 12)*

### 2.3 Maadoituksen standardit ja asennusmääräykset

Maadoitusjärjestelmän tehtävä on tehdä sähköasennuksesta turvallinen ja luotettava. Sillä saadaan aikaan maahan johtava yhteys, jota käytetään sähköiskulta suojaamiseen

sekä häiriösuojaukseen. Syötön automaattinen poiskytkentä on yksi osa sähköiskulta suojausta, ja sen käyttö on yleistynyt nykypäivänä huomattavasti uusien standardien myötä.

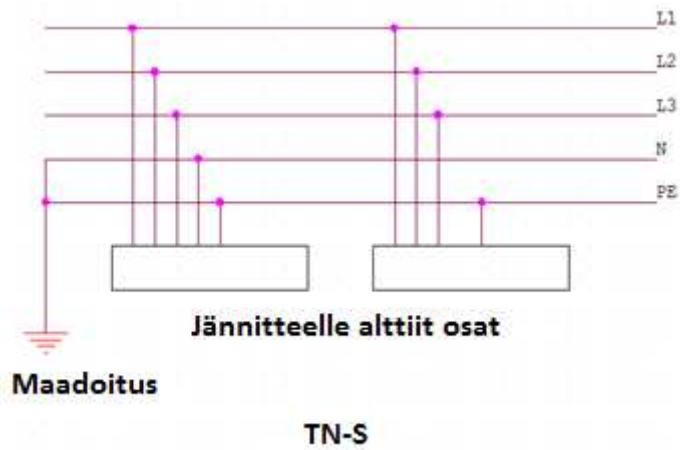
Pienjänniteasennuksien maadoitusta koskevat määräykset on esitetty standardeissa SFS 6000-4-41 ja SFS 6000-5-54. Suurjänniteasennuksien maadoitusta koskevat määräykset on esitetty standardeissa SFS 6001 luvussa 9 ja ST-kortistossa 53.11.

Pienjänniteasennuksissa käytetään kolmea eri perusjakelujärjestelmää: TN-järjestelmä, TT-järjestelmä sekä IT-järjestelmä. Normaaleissa sähköasennuksissa käytetään TN-S-järjestelmää. IT-järjestelmää käytetään erikoisjärjestelmissä kuten sairaaloissa. TT-järjestelmää ei Suomessa käytetä lainkaan.

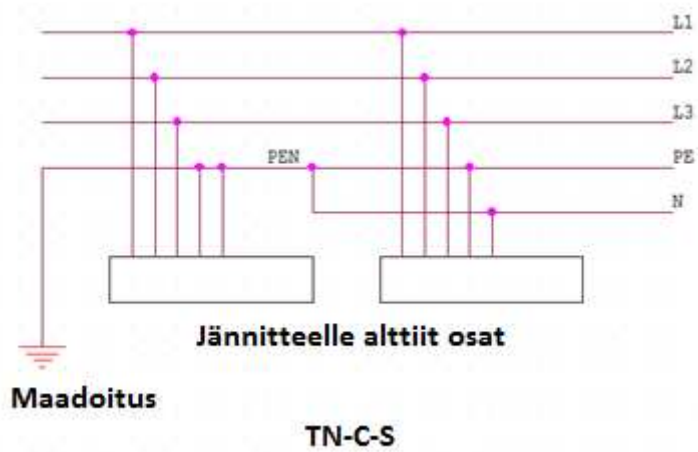
### 2.3.1 TN-järjestelmä

TN-järjestelmät koostuvat kolmesta eri nollan- ja suojajohtimen välisestä järjestelystä. TN-S- (TN-Separated) (kuva 2) järjestelmässä on erillinen nolla- ja suojamaajohdin koko järjestelmässä. TN-C-S- (TN-Combined-Separated) (kuva3) järjestelmässä nolla- ja suojamaajohdin on yhdistetty toisiinsa osassa järjestelmää. Nolla- ja suojamaajohtimen yhteistä johdinta kutsutaan PEN-johtimeksi. TN-C- (TN-Combined) (kuva4) järjestelmässä nolla- ja suojamaajohdin on yhdistetty samaan johtimeen, eli PEN-johtimeen.

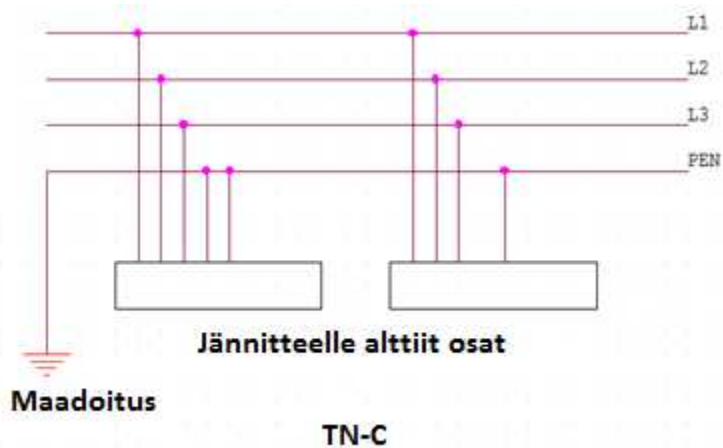
Eri järjestelmiä voidaan kytkeä yhteen siten, että TN-C- järjestelmästä siirrytään TN-S-järjestelmään, muttei toisinpäin. Tällöin järjestelmäksi muodostuu TN-C-S. Sähkön jakeluverkot muodostuvat yleisimmin TN-C- järjestelmästä, kun taas kiinteistöt tehdään TN-S- järjestelmällä. Kuvissa 2-5 on havainnollistettu eri järjestelmä tyypit.



Kuva 2. TN-S- Järjestelmä



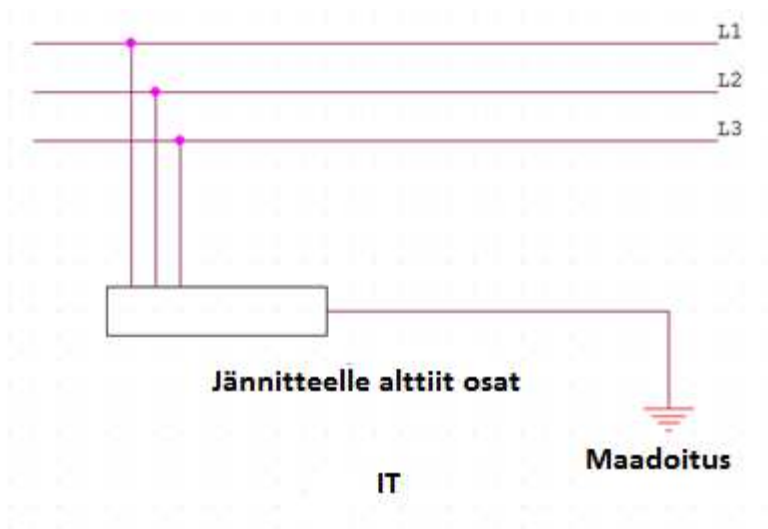
Kuva 3. TN-C-S- Järjestelmä



Kuva 4. TN-C- Järjestelmä

### 2.3.2 IT-Järjestelmä

IT-järjestelmässä mitään jännitteistä osaa ei kytketä suoraan maahan, vaan järjestelmä on erotettu maasta. Tällöin mikään piste ei ole yhdistetty maapotentiaaliin. Maadoitus järjestelmään muodostuu, esim. muuntajan tähtipisteen kautta. Koska jännitteisiä osia ei suoraan kytketä maahan, ensimmäisen vian aiheuttama virta pysyy hyvin pienenä. Ensimmäisestä viasta vikaa ei tarvitse kytkeä pois, mutta se täytyy ilmaista. Toisen vian tullessa syöttö pitää katkaista. IT-järjestelmän etu onkin siinä, että ensimmäisen vika ei aiheuta käyttökatkoa. Tämä antaa järjestelmälle suuren käyttövarmuuden, minkä vuoksi sitä käytetään yleisesti mm. sairaaloissa. Kuva 5 havainnollistaa IT-järjestelmän periaatteen. (ST-kortisto 53.21, hakupäivä 11.3.2013)



Kuva 5. IT-Järjestelmä

### 2.4 Maadoitusjärjestelmän mitoitus

Perusmaadoituselektrodi suositellaan upotettavaksi uusissa rakennuksissa betoniin ja käytettävän tällöin sopivan laatuista betonia. Betonissa tulisi olla 240 kg sementtiä / m<sup>3</sup>. Pienjännitejärjestelmissä maadoituselektrodin poikkipinta valitaan standardin SFS 6000 taulukon 54.1 mukaan, joka on vähintään 16 mm<sup>2</sup> kuparia tai 10 mm<sup>2</sup> ruostesuojattua terästä. Tärkeissä kohteissa suositellaan käytettävän vähintään 25 mm<sup>2</sup> poikkipinnan kuparia, joka on samalla kansainvälinen standardi minimi poikkipinnalle. Suomessa maaperän suuren resistiivisyyden vuoksi on havaittu, että riittävä poikkipinta on 16

mm<sup>2</sup>. Salamasuojaukseen tarkoitettussa elektrodissa käytetään yleensä 50 mm<sup>2</sup> kuparia, standardin EN 62305-3 mukaan. Minimissään elektrodin poikkipinnan täytyy olla 25 mm<sup>2</sup>.

Maadoitusjohdin, jolla tarkoitetaan päämaadoituskiskon ja maadoituselektrodin välistä johdinta, käytetään minimi poikkipintana standardin SFS 6000-5-54 taulukon 54.2 määrittelemiä poikkipintoja. Poikkipintaan vaikuttaa sen suojaus mekaaniselta vahingoittumiselta ja kuinka se on suojattu korroosiolta.

Suojamaadoitusjohdin, jolla tarkoitetaan keskuksen suojakiskon sekä päämaadoituskiskon välistä johdinta, mitoitetaan yleensä standardin SFS 6000-5-54 taulukon 54.3 mukaan. Alle 16 mm<sup>2</sup> poikkipinnoilla suojamaadoitusjohdin on yhtä suuri kuin äärijohtin, 16 mm<sup>2</sup>-35 mm<sup>2</sup> poikkipinnoilla suojajohdin on 16 mm<sup>2</sup> ja yli 35 mm<sup>2</sup> poikkipinnoilla puolet äärijohtimesta.

Laitteiden suojamaadoitusjohtimet mitoitetaan SFS 6000-5-54 taulukon 54.3 mukaan äärijohtimen poikkipinnan mukaan tai laskemalla oikosulkuvirta. Oikosulkuvirta lasketaan seuraavalla kaavalla:

$$I_k = \frac{c * U}{\sqrt{3 * Z_k}} \quad (1)$$

c = Jännitekerroin, kerroin on Alle 1000 V

asennuksissa 0,95 ja yli 1000 V asennuksissa 1,00

Z<sub>k</sub> = Kokonaisimpedanssi

U = Pääjännite.



c eli jännitekerroin muodostuu kuvan 6 mukaan.( IEC:200160909-0).

**Table 1 – Voltage factor  $c$**

Nominal voltage $U_n$	Voltage factor $c$ for the calculation of	
	maximum short-circuit currents $c_{\max}^{1)}$	minimum short-circuit currents $c_{\min}$
<b>Low voltage</b> 100 V to 1 000 V (IEC 60038, table I)	1,05 <sup>3)</sup> 1,10 <sup>4)</sup>	0,95
<b>Medium voltage</b> >1 kV to 35 kV (IEC 60038, table III)	1,10	1,00
<b>High voltage<sup>2)</sup></b> >35 kV (IEC 60038, table IV)		
<sup>1)</sup> $c_{\max}U_n$ should not exceed the highest voltage $U_m$ for equipment of power systems. <sup>2)</sup> If no nominal voltage is defined $c_{\max}U_n = U_m$ or $c_{\min}U_n = 0,90 \times U_m$ should be applied. <sup>3)</sup> For low-voltage systems with a tolerance of +6 %, for example systems renamed from 380 V to 400 V. <sup>4)</sup> For low-voltage systems with a tolerance of +10 %.		

Kuva 6. c –jännitekerroimen arvot.

Mikäli pääkeskukseen tuodaan useampi syöttö, esim. varavoimageneraattorilta tai useammalta muuntajalta, ei tällöin saa suoraan kytkeä muuntajan nollanapaa tai generaattorin tähtipistettä maahan. Teholähteet yhdistetään maahan yhdellä suojatulla johtimella. Tämä jodin vastaa PEN-johdinta. Jos toista syöttöä käytetään kuitenkin vain varasyöttönä, voidaan tällöin noudattaa yhden syötön periaatteita. (ST-53.21, hakupäivä 13.3.2013)

## 2.5 Maadoitus sairaalaympäristössä

Sairaaloissa on Suomessa yleensä ottaen käytössä lääkintä-IT-järjestelmää, ja yleinen sähköjakelu sairaaloissa toteutetaan TN-S- järjestelmällä. IT-järjestelmää täytyy valvoa erityisillä standardin EN 61557-8 mukaisilla laitteilla. TN-C- järjestelmää ei saa käyttää lääkintätiloissa ja terveydenhuoltoalan laitosten rakennuksissa. Sairaala on jaettu erilaisiin suojausryhmiin, 0-3. Taulukko 1:ssä on kerrottu ryhmien jaottelu.

Taulukko 1. Lääkintäryhmien luokittelu. (SFS 4372, hakupäivä 11.3.2013)

Ryhmä 0	Sähkökäyttöisiä lääkintälaitteita ei käytetä.
Ryhmä 1	Sähkökäyttöisen lääkintälaitteen liityntäosia käytetään ihon ulkopuolisesti.
Ryhmä 2	Sähkökäyttöisiä lääkintälaitteen liityntäosia käytetään ihon sisäisesti, mutta ei sydämenläheisesti.
Ryhmä 3	Sähkökäyttöisiä lääkintälaitteen liityntäosia käytetään sydämenläheisiin toimintoihin.

Ryhmien 2 ja 3 lääkintätiloissa on käytettävä lisäpotentiaalintasausta seuraavien osien välillä:

- jakokeskuksen suojakisko (PE-kisko)
- muut johtavat osat
- johtavien lattioiden metalliverkot
- häiriökenttien suojaukset
- PELV-laitteiden jännitteelle alttiit osat, esim. leikkausvalaisimen runko.

Lisäksi ryhmässä 3 tarvitaan ainakin kaksi tarkoituksenmukaisesti sijoitettua lisäpotentiaalintausliitintä potilasta kohden.

Lisäpotentiaalintauskiskoon ja kiinteästi asennettujen laitteiden tai pistorasioiden kytettyjen johtimien ja liitosten suoja liittimien tai muun johtavan osan välillä yhteenlas-

kettu resistanssi ei saa olla suurempi kuin  $0,2 \Omega$ . Mikäli resistanssiarvoa ei saavuteta normaalilla suojajohtimella, voidaan käyttää suurempi poikkipintaista suojajohdinta tai yhdistää pistorasian suojakosketin suoraan lisäpotentiaalintasauskiskoon. (SFS 4372, hakupäivä: 13.3.2013)

### 3 TURVASYÖTTÖJÄRJESTELMÄT

Turvasyöttöjärjestelmällä tarkoitetaan sähkönsyöttöjärjestelmää, joka normaali sähkönsyötön vikatilanteessa korvaa sähkönsyötön ihmisen turvallisuudelle tärkeille laitteille. Järjestelmä muodostuu jännitelähteestä, johdosta kulutuskojeelle saakka sekä joissain tilanteissa myös itse kulutuskoje. Järjestelmiä on kahta erityyppiä, ei-automaattinen sekä automaattinen. Sairaalaympäristöissä käytetään automaattista, jolloin turvasyöttö käynnistyy automaattisesti. Ei-automaattinen järjestelmä täytyy itse käynnistää. Turvasyöttöjärjestelmän yleisimpiä käyttökohteita ovat mm. turvavalaistusjärjestelmät, lääkintätilojen järjestelmät, paloilmoinjärjestelmät, hoitajakutsu-, poistumisvalvonta- ja päällekkarkausjärjestelmät. (ST-käsikirja 20, 50-54)

Turvasyöttöjärjestelmät ovat pakollisia ryhmän 1 ja 2 lääkintätilojen sähkönsyöttöjärjestelmässä. Lääkintätiloissa, joissa sähkönsyötön keskeytys ei aiheuta potilaalle välitöntä vaaraa, tekee lääkintätilojen johto päätöksen turvasyöttöjärjestelmien hankinnoista.

Standardien esittämien lääkintätilaryhmien, luokkien sekä turvasyöttöjärjestelmän kytkeytymisaikojen valitseminen on lääkintätilan haltijan tai toiminnan harjoittajan vastuulla. (SFS 6000-7-710 2007, 9,24)

Lääkintätilaryhmien 1 ja 2 turvasyöttöjärjestelmien teholahteille on määrätty standardissa eri luokkia (0,5, 15 ja yli 15). Luokille on määrätty omat kytkeytymisaikat joiden kuussa niiden on kyettävä syöttämään sähköä. Näiden lisäksi turvasyöttöjärjestelmien syötön täytyy hoitaa syöttöä siinä tapauksessa, että pääkeskuksen yhden tai useamman äärijohtimen jännite laskee yli 10 % nimellisjännitteestä. (SFS 6000-7-710, 9, 24)

Kaikki turvasyöttöjärjestelmän syötetyt pistorasiat täytyy merkitä selkeästi ja niiden on oltava tunnistettavissa mm. VV-merkinnöillä. Tämän lisäksi suositellaan käytettäväksi peitelevyissä, tunnuskilvissä sekä teippimerkinnöissä yleistä standardin SFS 6000-7-710 määriteltäviä tunnusväri taulukkoa. Taulukon värit on esitetty taulukko 1:ssä. Keskuksien kansissa suositellaan käytettävän myös samoja tunnusvärejä. Mikäli laajennusosia tehtäessä huomataan, että sairaalalla on jo käytössä jokin muu värikoodijärjestelmä, suositellaan tämän käyttämistä myös tulevissa laajennuksissa. (SFS 6000-7-710, 7, 10, 23)

Taulukko 1. Tunnusvärit (SFS 6000-7-710, 23)

Sähkösyöttöjärjestelmä	Väri ja värikoodi
Normaali verkko	Valkoinen tai muu määritelty normaaliväri
Turvasyöttöjärjestelmät yli 15 s	Vaaleansininen esim. RAL 5024
Turvasyöttöjärjestelmät alle 15 s	Sininen esim. RAL 5007
Turvasyöttöjärjestelmät alle 0,5 s	Punainen esim. RAL 3011
UPS-järjestelmät ja UPS:illa syötetty IT-järjestelmä	Oranssi esim. RAL 2000
Lääkintä IT-järjestelmä	Vihreä esim. RAL 6025

Turvasyöttöjärjestelmät on jaettu ajallisesti eri luokkiin: alle 0,5s, alle 15s ja yli 15s. Alle 0,5 sekunnin kytketymisajan turvasyöttöjärjestelmän tehollähteinä käytetään yleensä UPS-laitteita, akkuja tai paristoja. Enintään ja yli 15 sekunnin turvasyöttöjärjestelmänä käytetään tavanomaisesti diesel-käyttöisiä generaattoreita tai erillistä jakeluverkon syöttöä joka kuitenkin on riippumaton normaali sähkösyötöstä.

Alla olevassa luettelossa on esitetty tavanomaisia käyttökohteita aikaluokan turvasyöttöjärjestelmille. (SFS 6000-7-710, 23)

#### Alle 0,5 s

Ryhmään kuuluvat lääkintätilojen kriittiset laitteet sekä valaisimet (mm. leikkaussalin valaisimet).

On kyettävä syöttämään laitteita vähintään 3 tuntia. Mikäli syöttö on kytkettynä enintään 15 sekunnin turvasyöttöjärjestelmän moottorigeneraattoriin, voi tehollähteen mitoitaa 1 tunnin toiminta-ajalle. (SFS 6000-7-710, 23)

#### Alle 15 s

Varavalaistus, osa hisseistä, savunpoistojärjestelmät, henkilöhakujärjestelmät, lääkintätilojen sähköiset laitteet joita käytetään kirurgisiin tai muihin elintärkeisiin toimintoihin, lääkintäkaasujärjestelmä, paineilmalaitteet, keskusimujärjestelmä, anestesiakaasujen poistolaitteet ja niiden valvontalaitteet, paloilmaisu, palohälytys ja palonsammutuslaitteisto. Lisäksi alle 15 sekunnin varmennusajan laitteistoihin kuuluu toimenpidepaikkojen sekä vuodeosastojen hoituhuoneiden pistorasiat. (SFS 6000-7-710, 24)

Teholähteen on kyettävä syöttämään yllä olevia laitteistoja, järjestelmiä sekä pistorasioita vähintään 24 tuntia, silloin kun yhden tai useamman vaiheen jännite pääkeskuksessa on alentunut enemmän kuin 10 % nimellijännitteestä yli 3 sekunnin ajaksi. Mikäli lääketieteelliset vaatimukset ja tilan käyttö kaikki hoitomuodot mukaan luettuna voidaan lopettaa ja rakennus evakuoida reilusti alle 24 tunnin, voidaan syötön kestoaikaa pienentää 3 tuntiin. (SFS 6000-7-710, 24)

### Yli 15 s

Ryhmään kuuluu kaikki loput lääkintätilojen laitteet joita tarvitaan silloin kuin ulkopuolista energiaa ei ole pitkäaikaisesti saatavilla. Laitteet voidaan kytkeä joko käsin tai automaattisesti turvajärjestelmän teholähteeseen. Teholähteen täytyy syöttää niitä vähintään 24 tuntia. Tällaisia laitteita ovat mm: Sterilointilaitteisto, talotekniset järjestelmät kuten ilmanvaihto, ilmastointi ja lämmityslaitteistot, kiinteistöhuollon laitteistot ja jätehuollon laitteistot, jäähdytyslaitteistot, keittiölaitteet, akustojen varaajat. (SFS 6000-7-710, 24)

### 3.1 Turvajärjestelmän mitoitus

Turvasyöttöjärjestelmän teholähdettä mitoittaessa tulee huomioida mitoitusvirta, jonka tulee olla vähintään 10-kertainen IT-järjestelmän kaikkien kytkettyjen erotusmuuntajien mitoitusvirtojen summaan nähden. Kolmivaiheisen varavoimakoneen on myös kyettävä syöttämään epäsymmetristä vaihekuormaa eli vinokuormaa. Yksivaiheisella kuormalla enintään 300 kVA mitoitus-tehoisen teholähteen on kyettävä syöttämään vinokuormaa 100 % mitoitusvirrasta eli 33 % teholähteen mitoitus-tehosta. Yli 500 kVA teholähteet on hyvä jakaa useaan pienempään osaan, jolloin liian suuri alue ei olisi pelkästään yhden teholähteen perässä. Teholähteitä mitoittaessa, tulee huomioida alle 15 sekunnin sekä yli 15 sekunnin kytketymisajan omaavien turvasyöttöjärjestelmien kokonaistehot. Mikäli kiinteä teholähde ei ole riittävän suuri, sähköverkkoon asennetaan siirrettävää teholähdettä varten liitäntä, jotta siirrettävä teholähde saataisiin kytkettyä riittävän nopeasti. Lääkintälaitteiden tulee toimia +/- 10 % jännite-erojen puitteissa, joten turvasyöttöjärjestelmän teholähteen sähkön saatavuus on tärkeä. (SFS 6000-7-710, 24)

Turvasyöttöjärjestelmiä mitoittaessa tulee voi myös huomioida tehojen vuorottelun, eikä tällöin järjestelmää tarvitse täysin mitoittaa laitteistojen mitoitus-tehojen summalle. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että osaa laitteista sekä järjestelmistä saadaan kytkettyä yli 15 s kytketymsajan luokassa verkkoon. Tällöisiä ovat mm:

- hälytysjärjestelmät
- potilashissien osittaiskäyttö
- osa laboratorion pistorasioista
- lääkejääkaapit
- erilaiset jäähdytyslaitteet laboratorioissa
- lääkejääkaapit.

Jos kuitenkin yli 10 sekunnin kytkentäajan turvasyöttöjärjestelmän käyttöönotto kestää pitkään esimerkiksi siirrettäviä varavoimakoneita käyttäessä, ei järjestelmään saa liittää laitteistoja joiden käytössä poissa oleminen aiheuttaa vakavaa haittaa sairaalan toiminnalle. (SFS 6000-7-710, 25)

### 3.2 Varavoimalaitoksen mitoitus

Varavoimalaitoksen suunnittelussa ensimmäisenä määritellään ne laitteet ja valaisinryhmät joiden tulee toimia sähkökatkon aikana. Varavoimajärjestelmän tehontarvetta suunniteltaessa tulee huomioida laitteiden käynnistysvirrat sekä varmistettava automaattisen poiskytkennän vaatimukset varmistettavalle verkolle standardin mukaisesti. Erityisesti moottorikäytöt, kuten ilmastointi, hissit sekä suorat moottorilähdöt aiheuttavat merkittäviä kytkentäsäyksiä verkkoon. Varavoimalaitoksen suunnittelussa tulee huomioida myös nousujohtojen mitoitus, reititys, valinta sekä paloturvallisuus.

Varavoimalaitoksen suunnitteluun lääkintätiloihin on annettu suuntaa-antavia arvoja, jotka hahmottavat tarvittavan generaattorin tai generaattoreiden teholuokkaa.

Suurikokoiselle sairaalalle varavoiman tarve on luokkaa 0,2-0,3 W/m<sup>3</sup>, mutta mitoitus tulisi tehdä vähintään 1-2 W/m<sup>3</sup>. Pelkkä varavoimateho ei takaa varavoimajärjestelmän laadukkuutta, vaan tulisi huomioida myös se, mitkä kulutuskojeet on liitetty varmennet-

tuun verkkoon sekä mikä on varavoimageneraattorin kuormitusaste. Lisäksi mitoitukseseen tulee huomioida laajennusvara. Karkeana sääntönä voidaan pitää, että n. kolmasosa vuodeosastojen sähköverkoista ja 100 % kriittisten tilojen sähköjakelusta tulee olla varmennetun verkon piirissä. (Kalliokoski 2011, 43)

### 3.3 UPS-varasyöttöjärjestelmä

UPS-varasyöttöjärjestelmällä varmennetaan harkiten valittuja käyttökohteita, joissa ei sallita minkäänlaista sähköjakelun keskeytystä. UPS:in tyypillinen kytkeytymisaika sähköverkon kadotessa on 2-4ms, joka ei aiheuta haittaa herkimmillekään kuormille. UPS:ssa käytetään kolmea erilaista tekniikkaa, käyttökohteesta riippuen.

Stand-by UPS ottaa verkkosyöttö tilanteessa jännitteen suoraan verkosta ja syöttää sitä suodattimien kautta kuormalle. Verkonjännitteen mennessä raja-arvojen ulkopuolelle, vaihtuu se automaattisesti akkujen kautta otettavaan sähköenergiaan. Paluu sähköverkkoon tapahtuu kun verkkosyöttö palaa raja-arvojen sisäpuolelle.

Line interactive UPS ottaa verkkosähkötilanteessa jännitteen suoraan syöttävästä verkosta. Stand-by UPS:iin verrattuna kuorman jännite on riippumaton syöttävän verkon jännitteestä. Lähdön taajuus on riippuvainen tulotaajuudesta.

Double conversion UPS verkkosähkösyöttötilanteessa verkkosähkö ensin tasasuunnataan, jonka jälkeen se vaihtosuunnataan ennen syöttöä kuormalle. Kuormaa syötetään kaikissa tilanteissa vaihtosuuntaajan kautta. Tämä on nykypäivänä yleisimmin käytetty UPS-tekniikka. ( ST-kortisto 52.35.02, hakupäivä 7.4.2013 )

#### 3.3.1 UPS-mitoitus

UPS-laitteiden mitoituksen ensisijainen mitoittava tekijä on kuorman suuruus. Mitoituksessa tulisi huomioida, ettei laitetta jouduta kuormittamaan lähes täydellä teholla. Myöskään laitetta ei pitäisi mitoittaa siten, että se toimii vain muutaman kymmenen prosenttien kuormalla, sillä silloin hyötysuhde on erittäin huono. Pääsääntöisesti laite tulisi mitoittaa siten, että se toimii 40-80 % laitteen nimellistehosta.



Erikoissovelluksissa, kuten esimerkiksi sairaalat, tehoa tärkeämpi mitoitus suure on UPS-laitteen kyky syöttää oikosulkuvirtaa akkukäytöltä. Tämä voi johtaa siihen, että UPS tulee ylimitoitetuksi kuorman suhteen. Mikäli UPS:illa joudutaan käynnistämään mahdollisesti sähkömoottoreita, on moottoreiden käynnistysvirta huomioitava mitoituksessa. (ST 52.35.02, hakupäivä 7.4.2013)

### 3.3.1.1 Yliaaltojen vaimentaminen ja kompensointi

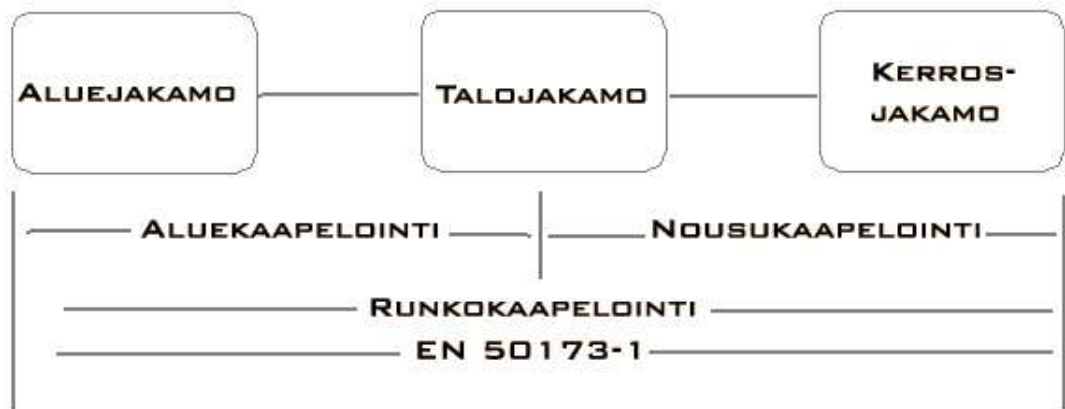
Varmennettava kuorma on yleensä hyvin epälineaarista ja aiheuttaa syöttävään verkkoon yliaaltovirtoja jotka voivat näkyä mm. nollavirtana tai jännitteen säröytymisellä. UPS-laitteistoihin on saatavilla erityisiä yliaaltosuotimia joilla verkkoon aiheuttama särövirta jää alle 5 % tason. UPS-järjestelmiä syöttävät kaapelit sekä keskuksien nollajohtimet tulee yliaaltojen vuoksi mitoittaa vaihejohtimien vahvuiseksi. Vanhoissa järjestelmissä nollavirta voi olla joskus vaihevirtaa jopa suurempi. Nykyaikaiset UPS-laitteet pystyvät itse tuottamaan tarvittavan loistehon eikä sitä tarvitse erikseen kompensoida. UPS-laitteiden syötön tehokerroin pyörii yleensä 0,97-0,99 tasolla. (ST 52.35.02, hakupäivä 7.4.2013)

## 4 YLEISKAPELOINNIN TEORIA

### 4.1 Yleiskaapeloinnin standardit ja asennusmääräykset

Yleiskaapeloinnilla tarkoitetaan kiinteistön sisäistä tiedonsiirtoverkkoa. Yleiskaapelointia on myös hyvin pitkälti standardoitu rakenne- sekä komponenttitasolla. Päästandardina toimii EN 50173-1 ja tämän lisäksi standardi löytyy kiinteistökohtaisesti koti-, toimisto-, teollisuus- ja datakeskuskapeloinneille. Sairaalaympäristö on saamassa oman standardinsa, mutta tällä hetkellä sairaalaympäristöissä sovelletaan muita standardeja.

Standardi EN 50173-1 määrittelee kaikille kiinteistöille yhtenäiset vaatimukset mm. verkon rajapintakäsitteet, komponenttien suorituskykyvaatimukset sekä runkokaapeloinnit. Kuvassa 10 näkyy hyvin standardin EN 50173-1 vaikutusalue.



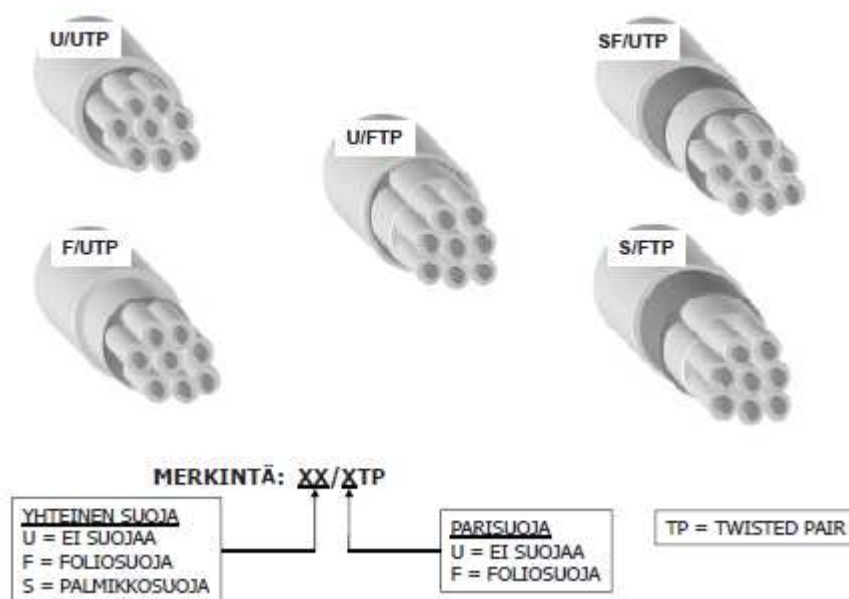
Kuva 10. Standardin EN 50173-1 vaikutusalue

Asuinkiinteistöissä kaapeleiden suorituskyvyn vaatimustasot koki Suomessa suuren muutokset vuonna 2008, jolloin perinteiseen puhelinkaapelointiin perustuva sisäjohtoverkko sai väistyä alta pois. Viestintäviraston sisäjohtoverkkoja koskeva määräys 25 E/2008 M velvoittaa urakoitsijoita asentamaan asuinkiinteistöihin verkon, joka suorituskyvyltään täyttää yleiskaapelointistandardit. ( Kauppi, Mäkinen, Pertti Reinikainen, Tiainen, Ylinen 2010, 121)

#### 4.1.1 Yleiskaapeloinnin suojaus

Yleiskaapelit muodostuvat neljästä kuparijohdinparista jotka ovat kierretty keskenään. Kaikki johtimet ovat kuitenkin oman eristeen sisällä. Kaikki johtimet kulkevat lisäksi yhteisen vaipan sisällä. Johtimien eristeenä käytetään yleensä polyeteeniä ja vaipan materiaalina PVC-muovia.

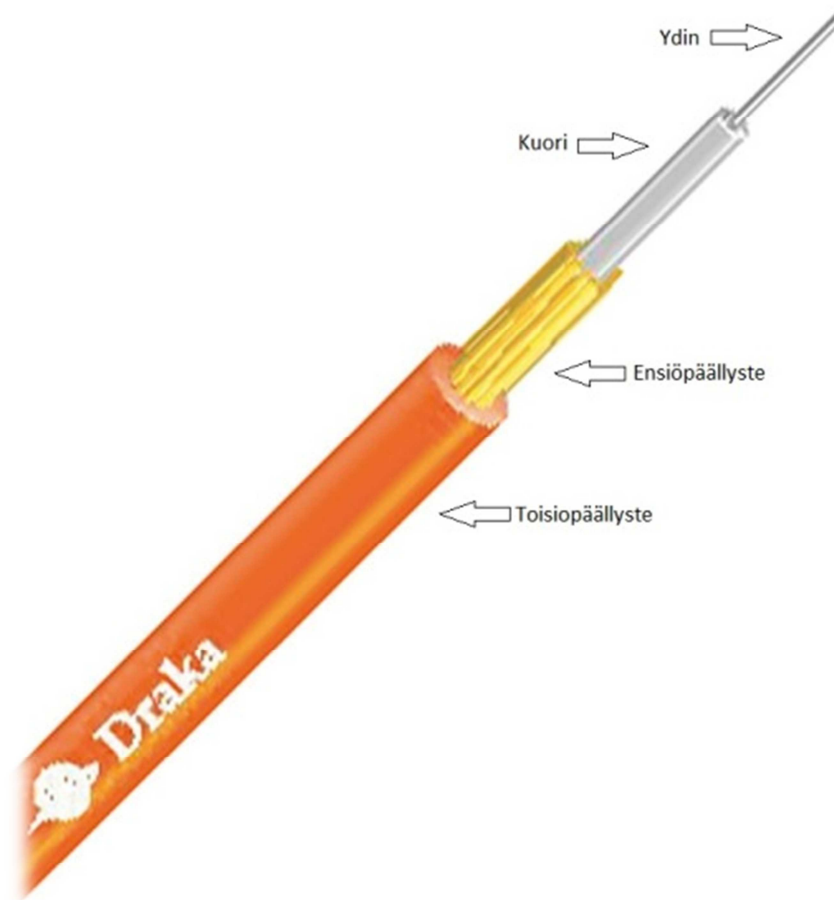
Näiden eristeiden lisäksi kaapeleita eristetään eri tavalla folio- tai metallipunossukilla. Valittaessa kaapelia kohteeseen, tulee huomioida riittävät suojaustyypit kaapelilla. Suojauksien tarkoituksena on estää sähkömagneettisten häiriöiden vaikutusta kaapeleissa tapahtuvaan tiedonsiirtoon. Suojausluokat tulevat yleensä enemmän ajankohtaiseksi teollisuusasennuksissa, sillä siellä on enemmän tilanteita, joissa kone tai kaapeli voi aiheuttaa häiriöitä kaapelille. Näitä ovat mm. Koneet, muuntajat, vahvavirtakaapelit ym. Nämä aiheuttavat ympärille sähkömagneettisia häiriöitä ja näitä vastaan täytyy kaapeliksi valita raskaammin suojattu parikaapeli. Tästä huolimatta voi tulla tilanteita, jonne yleiskaapelointia ei voi viedä, sillä raskaammatkaan suojaukset eivät pysty suojaamaan kaapelia riittävästi häiriöiltä. Tällöin vaihtoehdoksi tulevat optiset kaapelit, jotka ovat immuuneja sähkömagneettisille häiriöille. Kuvassa 11 on esitetty yleisimmät suojausrakenteet yleiskaapeleilla sekä kirjainyhdistelmien merkitykset.



Kuva 11. Yleisimmät yleiskaapeleiden suojausrakenteet ( SFS-5648 s. 13 )

#### 4.1.2 Valokaapeli

Valokaapeli koostuu useasta optisesta kuidusta sekä niitä suojaavista suojakerroksista. Optisen kuidun rakenne koostuu toisiöpäällysteestä, ensiöpäällysteestä, kuoresta sekä itse ytimestä eli kuidusta. Itse tieto liikkuu kuidussa pelkästään ytimessä. Muut kerrokset suojaavat vain kuitua. Kuva 12 havainnollistaa kuidun rakenteen.



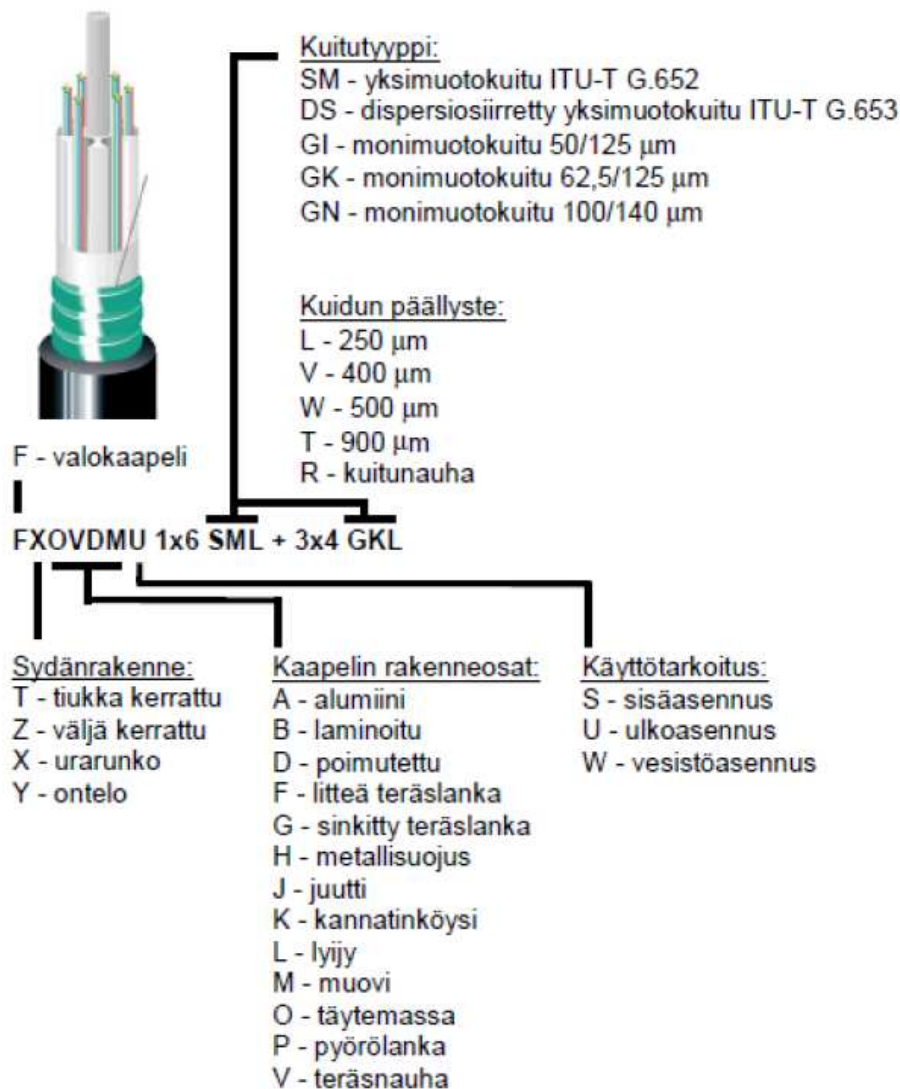
Kuva 12.( SLO www-sivut, hakupäivä 21.3.2013 )

Informaatio siirretään kuituun led- tai laser lähettimellä. Kuidun hyviä etuja ovat sen varma tiedonsiirto pitkillä etäisyyksillä ja suurilla nopeuksilla. Optiset kuidut jaetaan myös omiin katekoreihinsa niiden ominaisuuksien mukaan; OM1, OM2, OM3, OM4, OS1 ja OS2.

Kuidulla saavutetaan taloudellisiakin etuja, sillä uutta kaapelointia ei jouduta vetämään siirryttäessä korkeammille siirtonopeuksille. Muita etuja verrattuna normaaleihin yleiskaapelointi kaapeleihin ovat mm. parempi turvallisuus sillä kuitukaapelit ovat epäjohtavia ja parempi mekaaninen lujuus. Kuidut kestävät mekaanisesti vetoa yli 4 kertaa enemmän verrattuna esimerkiksi CAT 5 UTP kaapeleihin.

Valokaapelit määritellään erilaisin kirjain- ja numeroyhdistelmin jotka kertovat kaiken oleellisen kaapelista, mm. kuitumäärän, kuitutyypin sekä rakenteen.

Kuvassa 13 on esitetty kuidun tyyppimerkintä.



Kuva 13. Kuidun merkityksien selitykset. ( Raatikainen 2011, 23)

Valokaapelit päätetään aina urospuolisiin liittimiin. Suositut liittintyyppit ovat LC sekä SC liittimet. Kuidun pääteliittimen väristä voidaan päätellä onko kyseessä yksimuoto vai monimuotokuitu. Kuvassa 14 näkyy SC liittimet ja värien selitys. Kuvassa 15 näkyy SC ja LC liittimet. ( Kauppi ym. 2010, 34)



Kuva 14. SC-liittimien värit ( Optical products www-sivut, hakupäivä 21.3.2013 )



Kuva 15. Vas. SC-liitin, Oik. LC-liitin ( Computer cableinc www-sivut, hakupäivä 21.3.2013)

## 5 MITOITUS

Sähkösuunnitelmaa tehdessä tulee ottaa huomioon useita eri tekijöitä, lähtien taustaverkosta lähtien. Täysin uutta rakennusta rakennettaessa, tulee kaikki lähteä muuntajan mitoitukselta. Suunnittelutyön eteneminen jatkuu aina kulutuskojeen oikosulkusuojiin asti. Laskuesimerkit kertovat mitoituksessa käytettäviä kaavoja sekä mitoitus vaiheita.

### 5.1 Muuntajan mitoitus

Muuntajan mitoituksessa tärkein tieto on kokonaiskuormituksen suuruus. Tämän jälkeen tulee huomioida rakennuksen laajennuksen mahdollisuus esimerkiksi seuraavien 20 vuoden aikana. Ajatellaan, että kasvua tulee 1 % seuraavien 15 vuoden aikana. Kokonaiskuormitus tällä hetkellä on  $P_1 = 250 \text{ kW}$ . Hyötysuhteen oletetaan olevan  $\cos\varphi=0,96$ . Täten muuntaja mitoitetaan:

$$S = \frac{P_1}{\cos\varphi} = 260,41 \text{ kVA} \quad \rightarrow 260,41 * (1,01)^{15} \approx 303 \text{ kVA} \quad (2)$$

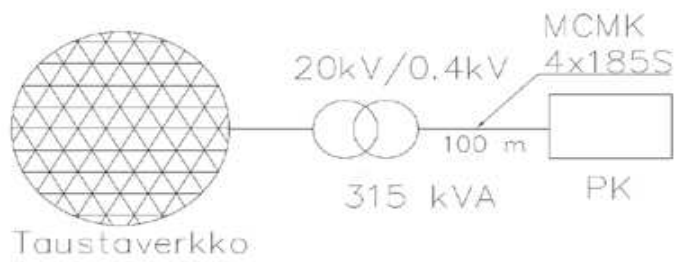
$$S = \frac{P_1}{\cos\varphi}$$

Muuntajan teholuokat menevät yleensä ottaen; 50 kVA, 100 kVA, 200 kVA, 315 kVA, 500 kVA, 800 kVA jne. Tällöin muuntajaksi valitaan 315 kVA.

### 5.2 Kuormitettavuus

Kuormitettavuutta käsiteltäessä tulee huomioida kaapeleiden kuormitettavuus sekä sulakkeiden kuormituksen kesto. Mikäli sulake on mitoitettu väärin kaapelin poikkipintaan nähden, eikä laukea vian tullessa, oikosulkuvirratt polttaa kaapelin ja voi aiheuttaa tulipalon.

Kuva 16. havainnollistaa esimerkin laskua.



Kuva 16 Kuviteltu tilanne.

Virta pääkeskuksella lasketaan seuraavanlailla. Kokonaiskuormaksi pääkeskuksella arvioidaan edelleen  $P_1=250 \text{ kW}$ ,  $\cos\varphi=0,96$

$$S = \frac{P_1}{\cos\varphi} = \frac{250 \text{ kW}}{0,96} = 260,417 \text{ kVA} \quad (3)$$

$$I_s = \frac{S}{\sqrt{3} * 400 \text{ V}} = 375,879 \text{ A} \quad (4)$$

Pääkeskuksella kulkisi tällöin maksimissaan 376 A virta. Tämän jälkeen sulakkeeksi voitaisiin valita lähimpänä oleva sulakekoko. Kuvan 17. mukaisen taulukon mukaan lähimpänä oleva sulake on 400A.



IEC-koko	Nimellisvirta $I_n$ [A]	Nimellistännite $U_n$ [V]	Tehohäviö nimellisvirralla $P_n$ [W]	Lajimerkki	SSTL	Toimitusmäärä [kol]	Paino/ kpl [kg]
00	2	690	1.3	OFAA00H2	31 101 40	3	0.16
	4	690	1.4	OFAA00H4	31 101 44	3	0.16
	6	690	1.4	OFAA00H6	31 101 48	3	0.16
	10	690	2.7	OFAA00H10	31 101 54	3	0.16
	16	690	3	OFAA00H16	31 101 57	3	0.16
	20	690	3.2	OFAA00H20	31 101 58	3	0.16
	25	690	3.9	OFAA00H25	31 101 59	3	0.16
	32	690	4.5	OFAA00H32	31 101 60	3	0.16
	35	690	4.9	OFAA00H35	31 101 61	3	0.16
	40	690	5.3	OFAA00H40	31 101 62	3	0.16
	50	690	6.9	OFAA00H50	31 101 63	3	0.16
	63	690	8.8	OFAA00H63	31 101 65	3	0.16
	80	690	9.2	OFAA00H80	31 101 66	3	0.16
	100	690	9.6	OFAA00H100	31 101 67	3	0.16
125	500	10.6	OFAA00H125	31 101 68	3	0.16	
1	16	690	1.9	OFAA1H16	31 103 57	3	0.49
	20	690	3.1	OFAA1H20	31 103 58	3	0.49
	25	690	3.9	OFAA1H25	31 103 59	3	0.49
	32	690	4.6	OFAA1H32	31 103 60	3	0.49
	35	690	5	OFAA1H35	31 103 61	3	0.49
	40	690	6.3	OFAA1H40	31 103 62	3	0.49
	50	690	7.1	OFAA1H50	31 103 63	3	0.49
	63	690	8.5	OFAA1H63	31 103 65	3	0.49
	80	690	9.4	OFAA1H80	31 103 66	3	0.49
	100	690	14	OFAA1H100	31 103 67	3	0.49
	125	690	19	OFAA1H125	31 103 68	3	0.49
	160	690	20	OFAA1H160	31 103 69	3	0.49
	200	690	22.5	OFAA1H200	31 103 70	3	0.49
	250	500	23	OFAA1H250	31 103 72	3	0.49
2	160	690	21	OFAA2H160	31 104 69	3	0.67
	200	690	23	OFAA2H200	31 104 70	3	0.67
	250	690	25.5	OFAA2H250	31 104 72	3	0.67
	315	690	31.5	OFAA2H315	31 104 74	3	0.67
	400	500	34	OFAA2H400	31 104 76	3	0.67
3	315	690	30.5	OFAA3H315	31 105 74	3	0.97
	400	690	41.5	OFAA3H400	31 105 76	3	0.97
	500	690	45	OFAA3H500	31 105 79	3	0.97
	630	500	48	OFAA3H630	31 105 81	3	0.97

Kuva 17. gG sulakekoot (ABB Oy www-sivut, hakupäivä 4.5.2013)

Tämän jälkeen voidaan katsoa, kuinka paljon syöttävää kaapelia voidaan kuormittaa maksimissaan. Muuntajan sekä pääkeskuksen välillä kulkee MCMK 4x185/95 -voimakapeli. Kaapelin valmistaja ilmoittaa kaapelin maksimi kuormitettavuudeksi kuvan 18 mukaan 386 A.

Johtimien lukumäärä ja poikkipinta $n \times \text{mm}^2$	Kuormitettavuus		Suurin sallittu terminen 1 s oikosulkuvirta	
	Maassa 3) johdin 70°C A	Ilmassa 4) johdin 70°C A	Sisäjohtin 5) kA	Konsentrinen johdin kA
MCMK 4x50/25 AN 1 kV	190	162	5,7	4,4
MCMK 4x70/35 AN 1 kV	240	208	8,0	5,7
MCMK 4x95/50 AN 1 kV	285	252	10,9	7,2
MCMK 4x120/70 AN 1 kV	325	292	13,7	10,4
MCMK 4x150/70 AN 1 kV	370	338	17,2	10,4
MCMK 4x185/95 AN 1 kV	420	386	21,2	13,4
MCMK 4x240/120 AN 1 kV	480	456	27,5	16,6

Kuva 18. MCMK kaapelin kuormitettavuus (Draka oy www-sivut, hakupäivä 4.5.2013)

Tämän jälkeen tulee kuormitusvirta kertoa korjauskertoimilla, mikäli tähän on aihetta. Korjauskertoimet kuvainnollistavat ympäristön lämpötilan sekä muiden kaapeleiden vaikutusta kuormitukseen sekä kaapelin lämpenemiseen. Standardi SFS 6000-5-52 an-

taa korjauskertoimet erilaisille asennustyypeille sekä ympäristö olosuhteille. Kyseisessä esimerkki tilanteessa oletetaan, että kaapeli on asennettu pääosin rei'itetyille hyllylle, jossa on myös 3 muuta samanlaista toisiaan koskettavaa kaapelia. Kaapeli on asennettu teollisuustilaan, minkä lämpötila on 20 C. SFS6000-5-52 taulukko A.52-5 kertoo menetelmän E mukaan, että kaapelia saisi kuormittaa maksimissaan 297 A. Korjauskerroin kaapelihyllyasennuksesta on 0,79 taulukon A.52-20 mukaan. Lämpötilan korjauskerroin on taulukon A.52-14 mukaan 1,05. Tällöin saadaan kaapelin kuormitettavuudeksi:

$$I_z = 297 \times 0,79 \times 1,05 = 246,36 \text{ A} \quad (5)$$

Ylikuormitussuojaksi voitaisiin tämän jälkeen valita taulukon SFS6000-5-52 taulukon B52-1 mukaan valita 200 A. Taulukossa 2 on sulakkeiden kuormitettavuus arvoja.

Taulukko 2. Sulakkeiden kuormitus (SFS6000-5-52, hakupäivä 13.4.2013)

gG-tyyppisen sulakkeen nimellisvirta, A	Johtimen kuormitettavuuden minimiarvo, A
125	138
160	177
200	221
250	276
315	348
400	441
500	552
630	695
800	883

Sulakkeiden valintaa tehtäessä, tulee aina huomioida asennuksen selektiivisyys. Selektiivisyydellä pyritään vikatilanteessa rajaamaan vika mahdollisimman pienelle alueelle, porrastaen sulakekokoja.

### 5.3 Oikosulkuvirrat

Mikäli halutaan laskea oikosulkuvirta tietyistä kohdista, tulee selvittää vikakohtassa vaikuttava kokonaisimpedanssi sekä jännite. Kokonaisimpedanssi tulee pitää sisällään kaapeliosuudet, muuntajat sekä taustaverkon.

$$Z_{total} := Z_{kaapelit} + Z_{muuntajat} + Z_{taustaverkko} \quad (6)$$

Tämän jälkeen saadaan laskettua mm. 3-vaiheinen oikosulkuvirta vikakohtasta.

Oletetaan, että muuntajan jälkeinen toisiojännite on 400 V. Tällöin vakiokerroin  $c$  on 0,95.

$$I_k = \frac{c * U_2}{\sqrt{3} * Z_{total}} = \frac{0,95 * 400}{\sqrt{3} * Z_{total}} \quad (7)$$

### 5.3 Jännitteenalenema

Jännitteenalenemalla tarkoitetaan Jännitteen muutosta syötön lähdöstä kulutuskojeelle. Standardi (SFS6000-5-525) vaatii ettei alenema saa olla sähköasennuksen liittymiskohdan ja sähkölaitteen välillä suurempi kuin 4 % nimellisjännitteestä.

Jännitteenalenema lasketaan kaavalla:

$$1 - \frac{U_2}{U_1} * 100 \quad (8)$$

$U_2$  = Jännite kulutusasteessa

$U_1$  = Lähtöjännite

## 6 KÄYTTÖÖNOTTOMITTAUSTEN SUORITUS

Sähköturvallisuuslaki vaatii, että jokaiselle sähköasennukselle tehdään käyttöönottomittaukset. Lain mukaan laitteiston käyttöönotto on kielletty ennen tarkastuksia. Käyttöönotolla tarkoitetaan sitä toimintaa laitteistolla tai tilalla, mihin se on suunniteltu. Tämän vuoksi valvottu koekäyttö laitteilla on sallittu ennen varinaista käyttöönottotarkastusta. Käyttöönottotarkastuksesta huolehtii sähkölaitteiston rakentaja. Sähkölaitteiston rakentaja huolehtii myös varmennustarkastuksesta ja ilmoituksen tekemisestä sähköturvallisuusviranomaiselle tai jakeluverkonhaltijalle. (Sähköturvallisuuslaki 14.6.1996/416 16-19 §).

Käyttöönottotarkastuksella pyritään saamaan mahdolliset viat pois, ja turvaamaan turvallinen sähkölaitteisto. Käyttöönottotarkastukset sisältävät aistinvaraisen tarkastuksen, suojajohtimen jatkuvuusmittaukset, eristysresistanssimittaukset, napaisuus- ja kierrosuuntamittaukset, syötön automaattisen poiskytkennän toimintatestit sekä vikavirtasuojan testaukset. Tämän lisäksi tarkastuksiin kuuluu osaksi myös tarvittavien dokumenttien täyttäminen.

### 6.1 Eristysresistanssin mittaus

Standardissa mainitaan, että eristysresistanssimittaukset tehtäisiin suojajohtimen jatkuvuusmittauksen jälkeen, mutta on järkevää tehdä varsinkin pienissä kohteissa eristysresistanssimittaus ensimmäisenä.

Eristysresistanssimittauksella tarkoitetaan jännitteellisten johtimien sekä maadoitetun suojajohtimen välistä resistanssia. Kaapeleiden eristeissä voi olla vikoja, sekä rakennusvaiheessa voi eristeisiin tulla vikoja. Eristysresistanssimittaus havaitsee nämä viat.

Mittaus suoritetaan jännitteettömässä laitteistossa. Mittausta ennen tulee varmistaa, että nolla- ja PE-johtimet on eriytetty toisistaan. Mittaus suoritetaan kaikkien jännitteisten johtimien ja maan välillä. TN-S- järjestelmässä nolla johdin katsomaan myös jännitteelliseksi johtimeksi. Alkuvalmisteluina tulee laittaa kaikki sulakkeet, johdonsuoja-

automaatit, vikavirtasuojat, ohjaus- ja käyttökytkimet ym. kiinni asentoon. Tämä mahdollistaa mittausjännitteen pääsyn ääripisteisiin asti.

Ennen ensimmäistä mittausta on hyvä vielä varmistaa oikeat asetukset, mm. mittausjännite, ja tehdä ensimmäinen mittaus mittausjohtimet yhdessä. Tällä testillä varmistetaan myös mittausjohtimien sekä mittauslaitteen kunto. Taulukko 3:ssa on esitetty pienimmät sallitut arvot eristysresistanssi mittaukselle.

Taulukko 3: Eristysresistanssi mittausarvot (Sähköinfo www-sivut, hakupäivä 15.3.2013)

<i>Virtapiirin nimellisjännite V</i>	<i>Koejännite (DC) V</i>	<i>Eristysresistanssi MΩ</i>
SELV ja PELV	250	≥0,5
Enintään 500V	500	≥1,0
Yli 500 V	1000	≥1,0

Mikäli mittauksessa on mukana ylijännitesuojia tai elektronisia laitteita jotka voivat helposti rikkoutua, ja niitä ei voi helposti irtikytkeä, voidaan mittaus suorittaa 500V koejännitteen sijaan 250 V koejännitettä. Tällöin kuitenkin eristysresistanssin tulee olla ≥1,0 MΩ

Jos asennuksissa on rele, kontaktori, SELV-, PELV-, tai sähköisesti erotettuja järjestelmiä, tai pelkästään porrasvalokytkeä vaihtokytkimillä toteutettuna, tulee tällöin mittaus suorittaa jokaisen laitteen koskettimet ollessa kiinni. Muu asennus voi olla mittauksessa myös tällöin mukana, mikäli mittaus ylittää tällöin vaaditun arvon.

Tarkemmat vaihe-vaiheelta mittausohjeet löytyvät liitteestä 1. (Kauppila, Tiainen, Ylinen 2009, 76)

## 6.2 Suojajohtimen jatkuvuus

Suojajohtimen jatkuvuusmittaus on hyvä tehdä eristysresistanssimittauksen jälkeen. Mittaus suoritetaan jännitteettömänä ja samalla lailla nolla ja suojamaajohdin erotettuna keskenään. Mittauksella varmistetaan nimensä mukaan, että suojajohdin jatkuu aina keskukselta ääripisteeseen asti. Suojajohtimiksi luokitellaan suojamaadoitusjohtimet, maadoitusjohtimet, PEN-johtimet ja potentiaalintasausjohtimet. Mittaus tulee suorittaa jokaisesta suojajohtimen ääripisteestä mm. ketjutetuissa pistorasioissakin jokaisesta pistorasiasta erikseen. Käyttöönottopöytäkirjassa on käytävä ilmi jatkuvuusmittaustulokset sekä kaikki testaustulokset on annettava laitteiston haltijalle. (KTMP 517/1996 4§).

Mittaustuloksesta on vähennettävä mittaajajohtimien resistanssi. Pitkillä johtopituuksilla on järkevää käyttää mitta-apujohtimena esim. johdon yhtä vaihejohdinta. Tällöin johdin pinnan poikkipinta tulee tietää, että johtimen resistanssi voidaan vähentää mittaustuloksesta. Mittaus on mahdollista tehdä myös johtavasta laiterungosta, mikä onkin järkevin vaihtoehto joissain tapauksissa. Liitteessä 2 on tarkemmin esitetty mittauksen kulku sekä liitteessä 3 on esitetty kupari- ja alumiinijohtimien resistanssiarvoja. Mittauksen suurin resistanssi saa olla noin 1-3  $\Omega$ . (Kauppila ym. 2009, 112)

## 6.3 Syötön automaattinen poiskytkentä

Syötön automaattinen poiskytkentä voidaan todentaa pelkästään laskemalla, mikäli suojajohtimien jatkuvuudet on mittaamalla tarkastettu ja käytössä on vikavirtapiirien impedanssit sekä suojajohtimen resistanssi arvot. Tarkoituksena on varmentaa, että mahdollisessa vikatilanteessa sulake pystyy toimimaan ja katkaisemaan vian keskukselle.

Yleisin tapa on kuitenkin todentaa automaattinen poiskytkentä mittaamalla jokaisesta ryhmästä heikoimmaksi arvioitu piste, eli yleisesti ottaen kauimmaisista pisteistä. Mitattu oikosulkuvirta tarkistetaan taulukosta, että se toteuttaa sulakkeelle annetut ehdot. Liitteessä 4 on esitetty eri sulakkeiden oikosulkuvirtakestoisuudet. Liitteessä 5 on myös esitetty mittaus käytännössä. Taulukoissa on esitetty eri laukaisuaikoja, jotka ovat 0,4

sekuntia ja 5 sekuntia. 5 sekunnin laukaisuaika sallitaan vain nousujohdoilla ja yli 32 A:n ryhmäjohdoilla. Muussa tapauksessa laukaisuaikavaatimuksena on 0,4 sekuntia. Taulukossa on arvot mitatuille ja laskennallisille arvoille. Vikatilanteissa johtimet lämpenevät ja tämä aiheuttaa resistanssin suurenemisen johtimessa. Tämän vuoksi mittaamalla saatu arvo on 1,25-kertainen laskennalliseen arvoon nähden. Resistanssin suurenemisen voi todeta kaavalla:

$$Z_s(m) \leq \frac{4}{5} x \frac{U_o}{I_a} (\Omega) \quad (9)$$

$Z_s(m)$  = Vaiheen ja maan välisen virtapiirin silmukkaimpedanssi

$U_o$  = Vaihejännite

$I_a$  = Virta, joka aiheuttaa suojalaitteen automaattisen poiskytkennän

(Kauppila ym. 2009, 132)

### 6.3.1 Vikavirtasuojien testaus

Käyttöönottomittauksissa jokainen vikavirtasuojia on testattava erikseen. Testaukseen kuuluu vikavirtasuojan testipainikkeella testattava suojan toiminta sekä mittaamalla varmistua nimellistoimintavirrasta. Tietyissä tilanteissa vaaditaan myös laukaisuajan mittaaminen, joten se on hyvä mitata samalla. Nämä poikkeustilanteet ovat: asennettaessa aikaisemmin käytössä ollut vikavirtasuojaa, tehdessä muutoksia tai lisäyksiä vikavirtasuojalla suojattuihin laitteistoihin ja käytettäessä vikavirtasuojaa vian nopeaan poiskytkentään.

Vikavirtasuojia on toimintavirrallaan erilaisia sekä erityyppisiä. Vikavirtasuojia löytyy 10 mA, 30 mA, 100 mA, 300 mA ja 500 mA nimellistoimintavirralla toimivia, sekä A ja B-tyyppiä. Asennuksissa on ennen käytetty AC-tyyppistä vikavirtasuojaa, mutta sen käyttö on nykyään kielletty. A-tyypin vikavirtasuojia tunnistaa sykkivän tasavirran luotettavammin kuin AC-tyypin suoja. B-tyypin vikavirtasuojia toimii vaihtovirran lisäksi puhtaalla tasavirralla. B-tyypin suoja on kuitenkin käytössä harvinainen. Suurempia

vikavirtasuojia, kuten 100 mA ja 300 mA käytetään mm. palovaarallisten tilojen sähköasennuksissa. (Kauppila ym. 2009, 59)

#### 6.4 Kiertosuunta ja napaisuus

Yksinapaisten kytkimien asentaminen nollajohtimeen on kielletty. On varmistettava että yksinapaiset kytkinlaitteet on kytketty aina vaihejohtimiin. Käytännössä varmistus kytkemisestä jää kytkinlaitetta asentaessa olevan henkilön tai häntä valvovan henkilön tehtäväksi.

Keskuksiin joihin tulee kolmivaiheinen syöttö, tulee aina tarkistaa vaiheiden (L1, L2 ja L3) kiertosuunta. Kiertosuunnat tulee myös tarkistaa jokaiselta 3-vaihe pistorasialta. Mittauksessa tulee noudattaa varovaisuutta valokaarivaaran vuoksi. Tämän vuoksi suositellaan mittauksiin käytettäväksi erityisiä niihin soveltuvia adaptereita. ( Kauppila ym. 2009, 152)



## 7 MITTAUSSUUNNITELMA

Mittaus suunnitelma on tarpeellista tehdä varsinkin suuremmissa kohteissa, missä on paljon myös muita urakoitsijoita. Aikataulutuksella taataan, että jokainen mittaus voidaan suorittaa oikeaan aikaan ja vielä silloin kun se on mahdollista. Esimerkiksi alas lasketun katon yläpuolella olevat maadoitusmittaukset kaapelihyllyiltä, ilmastointi kanavista ym. on huomattavasti helpompi mitata ennen kuin katot on asennettu paikalleen.

Teollisuudessa mittaus suunnitelman tekeminen nousee vielä tärkeämmäksi. Projekteissa aikaa vastaan työskennellään yleensä ottaen aina, koska uuden lisääminen prosessiin vaatii yleensä käyttökeskeytyksen. Tarkalla mittaus suunnitelmalla pystytään mittaamaan mm. erilaiset moottorikäytöt, taajuusmuuttajakäytöt ym. oikeaan aikaan. Tällä joudutetaan työn valmistumista ja säästetään ajalla selvää rahaa.

Mittaus suunnitelmassa on hyvä näkyä mahdollisimman tarkka aikataulu, milloin mitataan ja mitä mitataan. Kun kohteessa on paljon mitattavia osia ja laitteita, on hyvä olla jopa kohdeluettelo positioittain, joka kertoo mitä mitataan ja mistä mitataan. Tämä selkeyttää ja nopeuttaa mittajaan työtä, ja varmistaa sen että kaikki haluttu tulee mitatuksi.

Nykypäivän käyttöönottomittaukset tehdään nykyaikaisilla mittalaitteilla, joissa löytyy lähes jokaisessa sisäinen muisti. Mittaustulokset voidaan tätä nykyään tallentaa suoraan mittarin omaan muistiin, ja siirtää ne sieltä suoraan tietokoneelle sähköisessä muodossa. Tämä jouduttaa mittauksien suorittamista, ja varmistaa että kaikki mitattu dokumentoituu sähköiseen muotoon.

Mikäli mittauksia suoritetaan useammalla kerralla ja mahdollisesti mittajia on useampia, on tärkeä pitää mittaustulokset yhdessä paikassa tallessa. Tällä pois suljetaan mahdollisuus, että jotkin tulokset jäävät pois lopullisista mittauspöytäkirjoista. On hyvä tehdä yrityksen sisällä omat selkeät toimintatavat, mihin tiedot tallennetaan ja kuka purkaa mittareista tiedon tietokoneelle. Tämän lisäksi mittauksia suorittaessa mittauksien nimeäminen mittarille on hyvä tehdä yhteisellä kaavalla. Tämä mahdollistaa sen, että

useimmilla on mahdollisuus selvittää, mistä keskuksista ja positiosta mikäkin mittaus on suoritettu.

## 8 KÄYTTÖÖNOTTOMITTAUS

Tarkastelukohteena oli Länsi-Pohjan keskussairaalan laajennusosa. Kohteen viivästyk-  
sien vuoksi tarkastelu kohteeksi osoittautui kellarikerroksen sähköpisteet sekä kesku-  
set. Tarkoituksena oli tehdä käyttöönottomittauksen jokainen vaihe käytännössä, ja to-  
dentaa tulokset laskemalla.

### 8.1 Eristysresistanssinmittaus

Eristysresistanssimittaus on toinen tehtävistä mittauksista, joka suoritetaan keskuksen  
ollessa jännitteetön. Tämän jälkeen on helppo tehdä suojajohtimen jatkuvuusmittaus,  
kun N ja PE kiskot ovat jo erillään.

Eristysresistanssi mitataan suojajohtimien ja äärijohtimien väliltä. Nolla johdin laske-  
taan TN-S- järjestelmässä äärijohtimeksi. Keskuksessa ei ollut kontaktori lähtöjä, joten  
yksi mittaus riitti. Mikäli keskuksessa on kontaktori lähtöjä tai SELV- PELV-, FELV-,  
ja suojaerotettuja piirejä.

Mittaus suoritettiin 500V (DC) testijännitteellä ja arvoksi sain 189,4 M $\Omega$ . Tuloksen  
täytyy 500 V testijännitteellä olla > 1 M $\Omega$  joten tulos ylittää reilusti tarvittavan rajan.

### 8.2 Suojajohtimen jatkuvuus

Suojajohtimen jatkuvuusmittaus tulee suorittaa jokaiselle pisteelle erikseen. Mittaus  
tehdään keskuksen ollessa jännitteetön. Tarkoituksena on varmistaa suojajohtimen ehe-  
ys sekä jatkuvuus aina keskuksen PE-kiskostolle asti.

Esimerkki ryhmässä oli 4 2-osaista pistorasiaa. Ryhmän pistorasiat olivat fyysiseltä si-  
jainniltaan 20-30 metrin päässä keskukselta, joten apukelan avulla ryhmän pisteisiin  
ylettyi hyvin. Mikäli pisteet sijaitsevat kaukana keskukselta, voi apujohtimena käyttää  
muita johtimia kaapelista.

Mittaustulokset olivat seuraavanlaiset:

Taulukko 4. Mittaustulokset.

0,69 $\Omega$
0,77 $\Omega$
0,79 $\Omega$
0,72 $\Omega$

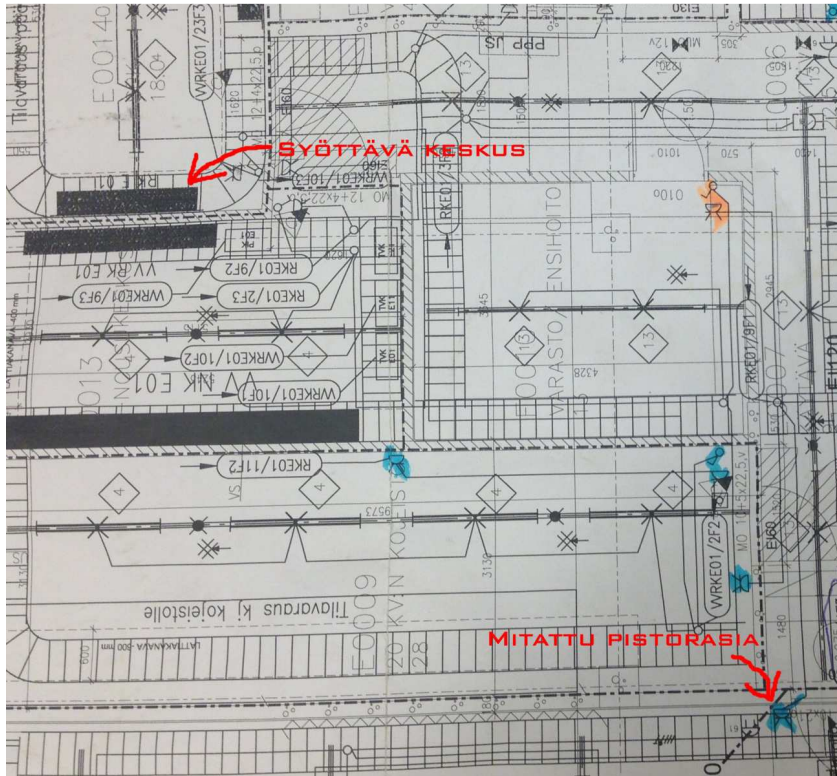
Johtimen ollessa kunnossa arvot ovat yleensä alle 1  $\Omega$ . Pitkillä johdin pituuksilla arvot voivat olla yli 1  $\Omega$  mutta silti pitäisi arvojen pysyä alle 3  $\Omega$ . Näin ollen mitatut arvot kertovat sen, että suojajohtimet ovat jatkuvia ja kunnossa. Esimerkiksi, jos ajatellaan teollisuudessa pistorasiaryhmän syöttökaapelin olevan 160 metriä pitkä. Kaapelina on MMJ 3x2,5S. Kyseisen kaapelin maksimi resistanssi 20 C lämpötilassa on 7,41  $\Omega$ /km. Tällöin 160 metrin matkalla resistanssi on:

$$0,16 \times 7,41 = 1,18 \Omega$$

Näin pitkä syöttökaapeli on kuitenkin todella harvinainen. Tästä voidaan päätellä, mikäli arvo on yli 1  $\Omega$ , on jotain pielessä.

### 8.3 Oikosulkusuojaus

Oikosulkusuojausta mitattaessa mitataan, että sulakkeelle tuleva oikosulkuvirta riittää laukaisemaan sulakkeen ja laukaisemaan sen riittävän nopeasti ja estämällä tällä johtimien lämpenemisen. Tarkastelun kohteena oli sen hetkinen kauimmainen piste keskukelta. Kuva 19 havainnollistaa tilannetta.



Kuva 19. Sähkökuva kellarista

Matkaa pistorasialta keskukselle oli n. 20 metriä.

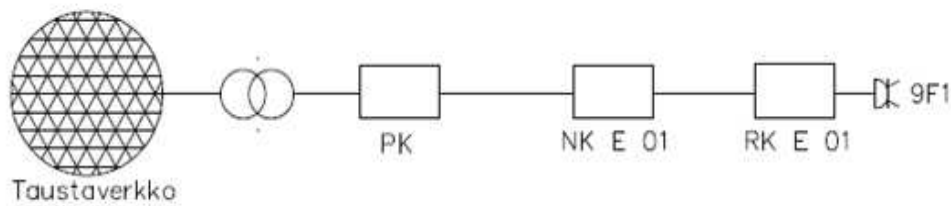
Yksivaiheinen oikosulkuvirta lasketaan kaavalla:

$$I_k = \frac{0,95U}{\sqrt{3 \cdot Z}} \quad (10)$$

0,95 = Kerroin jolla kerrotaan nimellinen pääjännite (U). Otetaan tällöin huomioon lievät jännitteenalenemat liittimissä, sulakkeissa ja kytkimissä.

Z = Virtapiirin kokonaisimpedanssi.

Kokonaisimpedanssin laskemiseksi tarvitaan taustaverkosta lähtien kaapeleiden impedanssi arvot aina kentällä olevalle rasialle asti. Kuva 20. havainnollistaa kulkuketjun, jonka kautta sähkö tulee kulutuspiisteelle rakennuksessa aina taustaverkosta lähtien. (IEC 60909-0)



Kuva 20. Sähkön kulku mittauspisteeseen

Oikosulkuvirraksi 9F1 ryhmän kauimmaisina piste antoi 502 A.

Sulakkeena lähdöllä on C-tyyppin 16A, jolloin mitatuksi arvoksi vaaditaan 200 A.

Automaattisulake toimii siis oikein.

#### 8.4 Kosketusjännite-ehdot

Nykymääräyksen mukaan pistorasiat tulee suojata vikavirtasuojauksilla, pois lukien silloin kun pistorasia voidaan nimetä vain tietylle koneelle tai laitteelle.

Käyttöönottomittauksissa tulee mitata vikavirtasuojan toiminta, ja tietyissä tapauksissa toiminta-aika. Vikavirran toiminta-aika on hyvä mitata silti jokaisessa mitattavassa pistorasiassa erikseen.

Tarkastelukohteena oleva pistorasia oli sama, kuin edellä oikosulkumittauksissa. Vikavirtasuojana oli 30 mA vikavirtasuoja. Tämä tarkoittaa siis sitä, että mittauksessa suojan tulee lauetä alle 30 mA:n. Mitattaessa suoja toimi 24 mA vikavirralla, joka on riittävä suoja. Toiminta ajaksi mitattiin 26,7 ms. Suojan toiminta aika täytyy olla alle 30 ms niin kuin suoja antaa ilmoittaa, ja tämä ehto täyttyy kyseisellä mittauksella.

#### 8.5 Jännitteen alenema

Jännitteenalenemaa muodostuu virran kulkiessa johtimessa. Alenemaan vaikuttaa oleellisesti johtimen pinta-ala. Standardin SFS 6000-525 mukaan suositeltava jännitteenalenema on <4 % liityntäpisteestä kulutuskojeelle. Tarkastuspisteenä oli jälleen samainen pistorasia ryhmä, ja mitattaessa jännite oli pisteessä 226 V.

Tällöin alenemaksi saadaan:

$$1 - \frac{U_1}{U_2} * 100\% = 1 - \frac{226 V}{230 V} * 100 = 1,739\% \quad (11)$$

1,7 % on tällöin alle suositellun <4 %.

## 8.6 Sairaalaympäristön lisävaatimukset

Sairaalaympäristö vaatii normaalien käyttöönottomittauksien lisäksi muitakin tarkastuksia sekä mittauksia. Alla olevat tarkastukset on suoritettava aina ennen käyttöönottoa:

- turvasyöttöjärjestelmien automaattisten vaihtokytkentälaitteiden käyttökoe
- IT-järjestelmän eristystilan akustisen/optisen hälytysjärjestelmän sekä valvontalaitteiden toimintatesti
- sähkövoimajärjestelmän turvalaitteiden selektiivisyyden toteaminen suunnitelmia ja laskelmia vastaaviksi
- mittaukset lisäpotentiaalintasauksen toteamiseksi
- toteaminen lisäpotentiaalintasauksikon sijainnista lääkintätilassa tai lähellä sitä sekä jakokeskuksessa tai sen läheisyydessä
- mittaukset ryhmän 3 lääkintätiloissa, enintään 2,5 metrin korkeudella lattiasta ja enintään 1,5 metriä potilaasta, jännite johtavien osien ja pistorasioiden suojakoskettimien ja suojamaadoitusliittimien välillä ei saa ylittää 20 mV
- vikavirtasuojakytkimien testaus

vikavirtavalvontajärjestelmän käyttö testaus, säätö ja koestus. (SFS 4372, hakupäivä 17.2.2013).

## 8.7 Mittauspöytäkirja

Mittauksien jälkeen tulee vielä täyttää mittauspöytäkirja. Mittauspöytäkirjan runkoja löytyy standardina esim. ST 51.21.05, Liite 6. Lomakkeissa kysytään yleensä vain epäedullisimpia sekä kauimmaisimpia pisteitä, mutta liitteenä täytyy olla loputkin mittaukset.

Lomakkeeseen tulee täyttää asennuksien aikana tehtyjen aistinvaraisen tarkastuksen merkinnät. Tämän lisäksi mittauksia suorittaessa tulee tehdä samalla aistinvaraista tarkastusta kohteesta.

Eristysresistanssi tulee merkitä siihen varattuun kohtaan. Mikäli asennuksissa on kontaktori lähtöjä tai SELV-, PELV-, tai FELV-piirejä, täytyy jokaisen piirin eristysresistanssi merkitä erikseen.

Syötön automaattisessa poiskytkentä kohdassa merkitään epäedullisin eli kauimmaisimmasta pisteestä mitattu arvo sekä positionumero. Oikosulkuvirran mitattu arvo täytyy vielä katsoa sulakkeiden poiskytkentä taulukosta, että arvo ylittää vaadittavan mitatun arvon. Alle 32 A sulake lähdöt täytyy täyttää 0,4 s pois kytkentä ehdot. Keskuksien välillä, kuten mittauskeskuksen sekä ryhmäkeskuksen välinen syöttö, voidaan käyttää 5 s poiskytkentä ehtoa.

Vikavirtasuojat keskuksista pitää testata testi-painikkeella. Lomakkeeseen täytyy laittaa vikavirtasuojien nimellisarvot sekä positionumerot. Liitteeksi on hyvä laittaa mitattu laukaisuvirta vikavirta ryhmän kauimmaisimmasta pisteestä, sekä samasta pisteestä otettu laukaisuaika.

Suojajohtimen jatkuvuusmittaus täytyy todeta mitatuksi, ja liitteinä olevista mittauspöytäkirjoista tulee nähdä jokaisen johtavan osan mitattu arvo sekä positionumerot.

Keskuksen sähkönsyötön kiertosuunta täytyy tarkastaa mittaamalla vaiheiden oikea järjestys. Kiertosuunta mittaus täytyy tehdä myös 3-vaihe pistorasioissa.



Pöytäkirjassa tulee näkyä mitattavan laitteen tyyppinumero. Mitattavan laitteen tulee olla siihen soveltuva ja standardien hyväksyttävä.

Tämän lisäksi kaikkien koneiden sekä laitteiden toiminta tulee testata mittauksien jälkeen.

## 9 POHDINTA

Työ oli hyvin mielenkiintoinen tehdä. Työssä tuli selvittää tärkeitä asioita, mitkä ovat hyödyllisiä myöhempää työuraa ajatellen. Käyttöönottomittauksien tärkeys selvisi itseleni viimeistään työtä tehdessä. Käyttöönottomittauksilla taataan asennuksien turvallisuus. Samalla suoritetuilla mittauksilla voidaan osoittaa myöhemmin, että asennukset ovat olleet standardien mukaan tehty sekä turvallisesti asennettu.

Oma kokemukseni käyttöönottomittauksista oli melko vähäinen, niin käytännönkokemuksena että tietotaidoiltaan. Työtä tehdessä teorettinen tietämys käyttöönottomittauksista kasvoi huomattavasti. Käytännön kokemus kasvoi myös mittauksia tehdessä. Oli mielenkiintoista päästä itse tekemään jokainen mittausvaihe erikseen ja harjoitella mittauksien suorittamista käytännössä.

Työssä saavutettiin asetetut tavoitteet kohtuullisen hyvin. Sairaalan työkohde oli melko paljon myöhässä joka viivästytti käytännön mittauksia paljon. Kaikki suunnitelmani työsuhteen ei täysin toteutunut viivästymien vuoksi, mutta mielestäni sain koottua kohtuullisen paketin teoriaa ja ohjeita käyttöönottomittauksista.

Työtä tehtiin kokoajan sillä asenteella, että voin työtä hyödyntää myös myöhemmin työelämässäni. Sain koottua tiiviin paketin käyttöönottoon liittyvistä asioista, sekä teoriaa eri osa-alueilta. Työtä onkin helppo tämän jälkeen käyttää mahdollisissa mittauksissa teorian lähteenä. Ihmisille, joille käyttöönottomittauksista ei ole kovin paljoa kokemusta, voi työstä olla apua myös heille. Työssä on liitteenä käytännön ohjeet onnistuneen mittauksen suorittamiseen, sekä teoriassa selitetty mitä jokaisella mittauksella haetaan.

## LÄHDELUETTELO

- IEC 60909-0, 2001. Short-circuit currents in three-phase a.c. systems. Brysseli: Cenelec.  
Hakupäivä 14.2.2013
- Kalliokoski, Perttu 2011. Lääkintätilojen varmennettu sähkönjakelu. Insinööriyö.  
Tampereen ammattikorkeakoulu, Tampere.
- Kauppi, Veijo & Mäkinen, Pertti A & Reinikainen, Ville & Tiainen, Esa & Ylinen,  
Timo 2010. Sähköasennukset osa 4. Espoo: Sähköinfo Oy
- Kauppila, Juha & Tiainen, Esa & Ylinen, Timo 2009. Sähköasennukset osa 3. Espoo:  
Sähköinfo Oy
- KTMP 517/1996
- Raatikainen, Juuso 2011. Optinen tiedonsiirto kuituverkossa. Insinööriyö. Tampereen  
ammattikorkeakoulu, Tampere.
- SFS 4372, 2001. Varmennetut sähköjärjestelmät. Helsinki: Sähköinfo Oy. Hakupäivä  
13.2.2013. Optiset liityntäverkot. Suunnittelu, asennus ja testaus.  
<[www.sahkoinfo.fi/severi](http://www.sahkoinfo.fi/severi)>
- SFS 5648, 2001. Helsinki: Sähköinfo Oy. Hakupäivä 13.2.2013.  
<[www.sahkoinfo.fi/severi](http://www.sahkoinfo.fi/severi)>
- SFS 6000-4-411.33, 2001. Helsinki: SFS.
- SFS 6000-5-52, 2001. Helsinki: SFS.
- SFS 6000-5-525, 2001. Helsinki: SFS.
- SFS 6000-7-710, 2007. Helsinki: SFS
- ST-kortisto 20, 2005. Varmennetut sähkönjakelujärjestelmät. Helsinki: Sähköinfo Oy.  
Hakupäivä 26.2.2013.
- ST-kortisto 52.35.02, 2010. UPS-laitteella varmennetun sähkönjakelujärjestelmän  
suunnittelu ja toteutus. Helsinki: Sähköinfo Oy. Hakupäivä 5.3.2013.
- ST-kortisto 53.21, 2010. Rakennusten jakelujärjestelmien maadoitukset ja  
potentiaalintasaus. Helsinki: Sähköinfo Oy. Hakupäivä 14.3.2013.
- Sähköturvallisuuslaki 14.6.1996/416

## LIITELUETTELO

Liite 1. Eristysresistanssi mittaus –ohje

Liite 2. Suojajohtimen mittaus –ohje

Liite 3. Kupari- ja alumiinijohtimien resistanssiarvot

Liite 4. Sulakkeiden poiskytkentäajat

Liite 5. Automaattinen poiskytkentä mittaus

Liite 6. Mittauspöytäkirja

Liite 7. Yleinen mittaus –ohje

### Eristysresistanssi mittaus –ohje

Tehdään jännitteettömässä piirissä.

Irrota N – PE johdinkiskojen yhdistys.

Mikäli edelleen mittari näyttää suojajohtimen sekä nollajohtimen olevan yhdessä, lähde irrottamaan yksikerrallaan suojajohtimia PE-kiskostosta paikantaaksesi ”vian”.

Mikäli sähkönenergian mittaus- ja tariffinohjauslaitteiden nollajohdin on kytkettynä syötön PEN-johtimeen, irrota nollajohdin.

Laita kaikki sulakkeet, johdonsuoja-automaatit, vikavirtasuojat, ohjaus- ja käyttökytkimet kiinni (1) asentoon.

Tee ensimmäinen mittaus mittausjohtimet oikosuljettuina. Näin varmistetaan itse mittalaitteen, tehtyjen asetusten ja valintojen sekä käytettävien mittajohtimien oikea asennus ja kunto.

TN-S –järjestelmässä mittaus suoritetaan äärijohtimien (L1, L2, L3 ja N) sekä PE-johtimen välillä.

TN-C –järjestelmässä mittaus suoritetaan äärijohtimien (L1, L2, L3) sekä PEN-johtimen välillä.

Pienimmät sallitut eristysresistanssiarvot on esitetty alla olevassa taulukossa:

Nimellisjännite V	Koejännite V	Eristysresistanssi MΩ
SELV ja PELV	250	≥ 0,5
Enintään 500 V	500 V	≥ 1
Yli 500 V	1000	≥ 1,0

### HUOM!

Mikäli asennuksissa on herkkiä elektronisia laitteita tai valaisimia, suositellaan käytettäväksi 250 V koejännitettä. Mikäli 250 V saadaan riittävä tulos, on tämä tällöin hyväksyttävä mittaus.

Mittauksen jälkeen palauta N – PE –kiskojen yhdistys.

Palauta sähkönenergian mittaus- ja tariffinohjauslaitteiden nollajohdin PEN –johtimeen.

Suojajohtimen mittaus –ohje

Suojajohtimen jatkuvuusmittaus tehdään jännitteettömässä laitteistossa!

Mittausjännite 4-24 V AC tai DC.

Poista TN-S –järjestelmässä suojajohtimen sekä nollajohtimen yhdistys!

Mikäli edelleen mittari näyttää suojajohtimen sekä nollajohtimen olevan yhdessä, lähde irrottamaan yksikerrallaan suojajohtimia PE-kiskostosta paikantaaksesi ”vian”.

Mitattava kaikki sähköä johtavat osat kohteessa.

Mittaus suoritetaan lähimmän pääpotentialitasauksen sekä mitattavan suojajohtimen välillä.

Mittausjohtimien resistanssiarvot saa vähentää mittaustuloksesta.

*Arvot löytyvät liitteestä 6.*

Arvo tulee olla 0-2  $\Omega$ . Jos suojajohdin on pitkä, mittaesarvo voi olla suurempikin, edellyttäen että se täyttää automaattisen poiskytkennän ehdot.

Muista laittaa ylös jokaisesta sähköä johtavasta osasta arvot.

## Kupari- ja alumiinijohtimien resistanssiarvot

Johdin poikkipinta- ala /mm <sup>2</sup>	Kuparijohdin		Alumiinijohdin	
	Resistanssi m/Ω	Resistanssi 100m/Ω	Resistanssi m/Ω	Resistanssi 100m/Ω
1,5	0,0115	1,15	-	-
2,5	0,0069	0,69	-	-
4	0,0043	0,43	-	-
6	0,0029	0,29	-	-
10	0,0017	0,17	-	-
16	0,0011	0,11	0,018	0,18
21	0,0008	0,08	-	-
25	0,0007	0,07	0,011	0,11
35	0,0005	0,05	0,0008	0,08
41	0,0004	0,04	-	-
50	0,00035	0,035	0,0006	0,06
57	0,0003	0,03	-	-
70	0,00025	0,025	0,0004	0,04
95	-	-	0,0003	0,03
120	-	-	0,00024	0,024
150	-	-	0,00019	0,019
185	-	-	0,00015	0,015

## Sulakkeiden poiskytkentäajat

Pienimmät toimintavirrat gG-sulakkeille ja vaaditut mitatut arvot (Lähde: ST 53.25)				
Nimellisvirta A	gG-sulake 0,4 s A	Vaadittu mitattu arvo A	gG-sulake 5,0 s A	Vaadittu mitattu arvo A
2	16	20	9	11,3
4	32	40	18	22,5
6	46,5	58,2	28	35
10	82	102,5	46,5	58,2
16	110	137,5	65	81,3
20	145	181,3	85	106,3
25	180	225	110	137,5
32	270	337,5	150	187,5
35			165	206,3
40	315	393,8	190	237,5
50	470	587,5	250	312,5
63	550	687,5	320	400
80	840	1050	425	531,3
100	1000	1250	580	725
125	1450	1812,5	715	893,8
160	1600	2000	950	1187,5
200	2100	2625	1250	1562,5
250	2800	3500	1650	2062,5
315	3700	4625	2200	2750
400	4800	6000	2840	3550
500	6400	8000	3800	4750
630	8500	10 625	5100	6375



Automaattisen poiskytkennän mittaus –ohje

Mittaus tehdään keskuksen ollessa jännitteellinen.

Mittaus tulee suorittaa jokaisen vikavirtasuojatun pistorasia ryhmän epäedullisimmasta pisteestä, eli kauimmaisimmasta pisteestä.

Mittarista täytyy valita ennen mittausta vikavirtasuojan toimintarajavirta. Yleensä kiinteistö ja asumiskohteissa se on 30 mA.

Asetuksien ollessa kunnossa, mittaus suoritetaan mittarin ”Test” painikkeella jonka jälkeen tulos kirjataan ylös paperille tai tallennetaan mittariin.

Samalla on hyvä suorittaa laukaisuaika testi. Kun vikavirta on nostettu ylös, mittaa samasta pistorasiasta myös laukaisuaika ja kirjaa tämä ylös paperille tai tallenna se mittarin muistiin.

## TARKASTUSPÖYTÄKIRJA

### Sähköasennuksen käyttöönotto

<b>1. Työkohde</b>	Asiakas					
	Osoite	Puhelin				
<b>2. Sähköurakoitsija</b>	Nimi					
	Osoite	Puhelin				
<b>3. Jakeluverkon haltija</b>						
<b>4. Nimellisjännite</b>		<b>5. Oikosulkuvirta</b> liittymän luona (pienin/suurin)				
<b>6. Tarkastuksen peruste</b>	<input type="checkbox"/> Uudisasennus	<input type="checkbox"/> Muutos- tai laajennustyö	<input type="checkbox"/> Korjaustyö	<input type="checkbox"/> Uusintatarkastus		
	Muu: _____ Työ: _____					
<b>7. Silmä-määräinen tarkastus</b>	a. Liittymisjohto		Poikki-pinta: _____			
	<input type="checkbox"/> päätte	<input type="checkbox"/> suojaus	Laji: _____			
	b. Läpivienti	c. Päävarokkeet		Sulake / varoke _____ x _____ A / _____ x _____ A		
	d. Pääpotentiaalintasaus					
	<input type="checkbox"/> PE- tai PEN-kisko betonirauhoitus	<input type="checkbox"/> maadoitusjohdin antennirauhoitus	<input type="checkbox"/> vesiputkistot puhelinmaadoitus	<input type="checkbox"/> ilmanvaihtokanavat ukkossuojaus		
	e. Pääkeskus					
	<input type="checkbox"/> sijoitus asennus	<input type="checkbox"/> rakenne	<input type="checkbox"/> erotusmahdollisuus	<input type="checkbox"/> merkinnät		
	f. Ryhmäkeskukset					
	<input type="checkbox"/> sijoitus	<input type="checkbox"/> rakenne	<input type="checkbox"/> merkinnät	<input type="checkbox"/> asennus		
	g. Ryhmäjohtot					
	<input type="checkbox"/> liittäminen keskukseseen	<input type="checkbox"/> poikki-pinnat	<input type="checkbox"/> merkinnät	<input type="checkbox"/> asennus		
	h. Pistorasiat					
	<input type="checkbox"/> sijoitus	<input type="checkbox"/> rakenne	<input type="checkbox"/> johtimien liitokset			
	i. Valaisimet					
	<input type="checkbox"/> sijoitus	<input type="checkbox"/> rakenne				
j. Lämmityslaitteet						
<input type="checkbox"/> pattereiden sijoitus ja asennus	<input type="checkbox"/> kiukaan sijoitus ja asennus	<input type="checkbox"/> lämmityskelmujen asennus	<input type="checkbox"/> lämmityskaapeleiden asennus			
k. Muut kojeet						
<input type="checkbox"/> liesi						
l. Muut asennukset						
<input type="checkbox"/> puhelin-asennukset	<input type="checkbox"/> antenniasennukset	<input type="checkbox"/> muut teletekniset asennukset				
m. Loppupiirustukset						
<input type="checkbox"/> keskuskaaviot	<input type="checkbox"/> johdotuskuvat	<input type="checkbox"/> käyttöohjeet ja käytönopastus				
<b>8. Keskuskohtaiset mittaukset</b>	a. Suojajohtimien ja potentiaalintasausjohtimien jatkuvuus		b. Eristysresistanssi			
	<input type="checkbox"/> Jatkuvuus todettu mittaamalla		Koko keskuksen eristysresistanssi _____ MΩ			
	Erikseen mitattavat ryhmäjohtot					
	Ryhmä nro	Eristysresistanssi	Ryhmä nro	Eristysresistanssi	Eristysresistanssi	
	c. Syötön automaattisen poiskytkennän vaatimusten toteutuminen					
	<input type="checkbox"/> Todettu mittaamalla		<input type="checkbox"/> Todettu suunnitelmista			
	Pienin oikosulkuvirta erikseen mitatuista ryhmistä					
	Ryhmä nro	Ikmin / A	Onko OK	Ryhmä nro	Ikmin / A	Onko OK
d. Vikavirtasuojakytkimien toimintavirrat						
Tunniste	Nimellisarvot In / Δn	Mitattu Δ	Tunniste	Nimellisarvot In / Δn	Mitattu Δ	
f. Käytetyt mittalaitteet						
Laite		Valmistaja		Tyyppi		
<b>9. Tarkastuksen tulos</b>	TUKESin ohjeessa S10 vahvistettujen standardien tai standardeihin rinnastettavien julkaisujen mukainen turvallisuustaso				<input type="checkbox"/> saavutettu	<input type="checkbox"/> ei saavutettu (puutteet liitteessä)
<b>10. Tarkastuksen tekijä</b>	Nimi					
	Aika ja paikka		Allekirjoitus			

Silmämääräinen tarkistus

Mittauksia suorittaessa tehdään myös silmämääräistä tarkistusta, johon kuuluvat:

1. Suojajohtimen sekä nollajohtimen tunnuksiset
2. Varoituskilvet
3. Piirustukset sekä muut tarvittavat järjestelmätiedot/dokumentit
4. Järjestelmän osien tunnistettavuus; Varokkeet, kytkimet, liittimet, säätimet, ryhmämerkinnät keskuksissa
5. Johtimien liitokset
6. Hätäkytkimet
7. Laitteiston jännitteestä erottamiseen tarvittavat varusteet
8. Läpivientien asianmukaisuus (Äänieristys, paloluokat)

Ennen mittauksia

1. Mittarin tarkistus  
- Tarkista mittari referenssipisteen avulla.
2. Tarkista, että tarvittavat kaapelit ovat laatikon sisällä: Suko-adapteri, 3~ pistoke, pihdit, johdin kela.
3. Laita mittarin sarjanumero lomakkeisiin.