

# KEMI-TORNION AMMATTIKORKEAKOULU

## Karihaaran 110 / 20 kV kytkinaseman saneeraussuunnitelma

Miia Karvonen

Sähkötekniikan koulutusohjelman opinnäytetyö  
Sähkövoimatekniikka  
Insinööri(AMK)

KEMI 2012

## **ALKUSANAT**

Haluan kiittää Kemin Energia Oy:tä mielenkiintoisesta opinnäytetyön aiheesta ja opinnäytetyön aikana annetusta avusta. Lisäksi haluan kiittää opinnäytetyön ohjaajaa Antero Martimoa opinnäytetyön ohjauksesta ja työn aikana annetuista neuvoista.

## TIIVISTELMÄ

Kemi-Tornion ammattikorkeakoulu, Koulutusohjelma Opinnäytetyön tekijä Opinnäytetyön nimi	Tekniikan ala Sähkötekniikka Miia Karvonen Karihaaran 110 / 20 kV kytkinaseman saneeraussuunnitelma.
Työn laji päiväys sivumäärä Opinnäytetyön ohjaaja Yritys Yrityksen yhteyshenkilö/valvoja	Opinnäytetyö 9.5.2012 89 + 3 liitesivua Insinööri Antero Martimo Kemin Energia Oy Insinööri Petri Gyldén

Opinnäytetyön toimeksiannon on antanut Kemin Energia Oy. Tässä työssä on tarkasteltu Kemin Energian Karihaaran kaupunginosassa sijaitsevan 110 / 20 kV:n kytkinaseman kuntoa ja saneeraustarpeita. Tarkoituksena oli tutkia, missä kunnossa kytkinaseman rakennus ja laitteet/laitteistot ovat sekä laatia kuntoarvion pohjalta saneerausehdotus.

Karihaaran kytkinasema on rakennettu 1970-luvun puolessavälissä. Kytkinasemalle on asennettu samoihin aikoihin myös kojeisto sekä suurin osa laitteista ja komponenteista. Kytkinkenttä laitteineen on rakennettu myöhemmin 1980-luvun puolenvälin tienoilla. Laitteiston kuntoarvion perustana on laitteistojen ikä sekä ABB:n arvio laitteiden eliniästä ja laitteistojen varaosien saatavuudesta. Kytkinasemarakennuksen kuntoarvion kävi tekemässä Arvo.K Keränen Ky.

Työssä on aluksi käsitelty yleisesti sähköasemiin liittyvää teoriaa. Materiaalina on käytetty Kemin Energian kansioista löytyviä dokumentteja, kirjallisuutta, ABB:n TTT-käsikirjoja sekä internetistä löytyviä tietoja. Työssä on viitattu myös sfs-käsikirjoista löytyviin standardeihin. Tässä työssä on lisäksi tutkittu ja laskettu Karihaaran vikavirtoja ja niiden perusteella on mitoitettu tarvittavat laitteet. Vikavirtatietoja on saatu valtakunnalliselta kantaverkkoyhtiöltä Fingrid Oyj:ltä sekä verkkotietojärjestelmä Xpowerista.

Työssä on laadittu saneeraussuunnitelma Karihaaran kytkinasemalle, jonka pohjalta on tehty myös saneerauksen kustannusarvio. Kustannusarvioiden teossa on käytetty ABB:n ja YIT:n laatimia budjettiarvioita. Lisäksi Karihaaran kytkinaseman saneerauksen työvaiheesta on tehty alustava työsuunnitelma.

Kytkinasemasta on liitteiksi laadittu myös pääkaavio ja aseman layout-kuva.

Asiasanat: kytkinasema, laitteisto, saneeraus.

## ABSTRACT

Kemi-Tornio University of Applied Sciences, Technology	
Degree Programme	Electrical Engineering
Name	Miia Karvonen
Title	Renovation Plan of Karihaara Switching Substation
Type of Study	Bachelor's Thesis
Date	9.5.2012
Pages	89 + 3 appendices
Instructor	Antero Martimo BEng
Company	Kemin Energia Oy
Contact Person/Supervisor from Company	Petri Gyldén BEng

This thesis was commissioned by Kemin Energia Oy. In Kemi, a local district called Karihaara is located where the 110 / 20 kV switching substation of Kemi Energia is to be found. This thesis studied the condition of the switching substation and the needs of renovation in it. The purpose was to analyze the condition of the equipment and the building and prepare a renovation plan on the basis of condition assessment.

The switching substation was built in the middle of 70's. Also the main part of the equipment is from that time. The switchyard was built later in the middle of 80's. The condition assessment of equipment is based on the age of the equipment and on the ABB's life cycle assessment and spare part availability. Condition assessment of the switching substation building was made by Arvo.K.Keränen Ky.

At the beginning of the thesis general theory of the substations was dealt with. The material was gathered from documents of Kemin Energia folders, from literature, from the TTT-handbooks and from the internet. Also manuals of SFS-standards were utilized in the thesis. In the thesis, fault currents in Karihaara were studied and calculated and the necessary equipment on the basis of those currents was rated. Fault current information was got from the national main grid corporation Fingrid and from the network database system Xpower.

At the end of the thesis, renovation plan and cost estimation for the switching substation of Karihaara were made. The cost estimate was prepared with the help of budget estimates from YIT and ABB. In addition, the work plan for the implementation of the renovation was made.

The main diagram and the layout of the substation were drawn.

Keywords: switching substation, equipment, renovation

## SISÄLLYSLUETTELO

ALKUSANAT .....	I
TIIVISTELMÄ .....	II
ABSTRACT .....	III
SISÄLLYSLUETTELO .....	IV
KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET .....	VI
1. JOHDANTO .....	1
2. VIKAVIRRAT JA NIIDEN LASKENTA .....	2
2.1. Symmetrinen ja epäsymmetrinen oikosulku .....	2
2.2. 3- ja 2-vaiheinen oikosulku ja sen määrittäminen .....	4
2.3. Impedanssin määrittäminen .....	6
2.4. Sysäysoikosulkuvirta ja terminen oikosulkuvirta .....	7
2.5. Yksivaiheiset maasulut .....	10
2.6. Maasulun kompensointi .....	12
3. SÄHKÖASEMAT .....	15
3.1. Kokoojakiskojärjestelmät .....	15
4. KYTKINASEMAN KOMPONENTIT .....	19
4.1. Kytkinlaitteet .....	19
4.1.1. Katkaisijat .....	20
4.2. Katkaisutapahtuma .....	20
4.2.1. Erottimet .....	25
4.3. Relesuojaus .....	27
4.3.1. Suojareleiden rakenne ja toiminta .....	27
4.3.2. Yleisimmät suojareleet .....	28
4.4. Mittamuuntajat .....	30
4.4.1. Virtamuuntajat .....	30
4.4.2. Jännitemuuntajat .....	33
4.5. Sähkönjakeluautomaatio .....	35
4.5.1. Kaukokäyttö ja tiedonsiirto .....	37
4.6. Maadoitukset .....	38
4.7. Kosketusjännite .....	41
5. KARIHAARAN KYTKINASEMAN VIKAVIRRAT .....	46
5.1. Isohaaran voimalaitoksen koneiden aiheuttama vikavirta .....	49
5.2. Karihaara maasulkuarvot .....	52
6. KARIHAARAN KYTKINASEMAN NYKYTILANNE .....	54
6.1. 110kV:n kytkinkenttä .....	54
6.1.1. Katkaisija .....	54
6.1.2. Erotin .....	55
6.1.3. Virta- ja jännitemuuntajat .....	56
6.1.4. Ylijännitesuojat .....	56
6.2. Päämuuntaja PM1 .....	57
6.3. 20kV:n kojeisto .....	58
6.3.1. Katkaisijat ja erottimet .....	59
6.3.2. Jännite- ja virtamuuntajat .....	60
6.4. Relesuojaus .....	60
6.4.1. 110kV:n Ylivirta- ja differentiaalisuojaus .....	61

6.4.2. 20kV:n relesuojaus .....	61
6.4.3. Valokaarisuojaus .....	62
6.4.4. Releasettelut .....	62
6.5. Ohjaus- ja kaukokäyttöjärjestelmä .....	63
6.6. Maadoitus .....	65
6.7. Omakäyttö- ja tasasähköjärjestelmä .....	66
6.8. Maasulkuvirran kompensointi .....	67
7. SANEERAUKSEN TOTETUSTUSEHDOTUS JA LAITTEIDEN VALINTA .....	69
7.1. 110kV:n kytkinkentän laitteet .....	69
7.2. 20kV:n kojeisto ja laitteet .....	69
7.3. Relesuojaus .....	72
7.4. Apulaitokset .....	74
8. KUSTANNUSARVIO .....	76
8.1. ABB:n ja YIT:n budjetti-arviot .....	76
8.2. Päätteet ja jatkot .....	77
8.3. 20kV kojeiston ja apulaitteiden kustannusarvio .....	78
8.4. Uuden sähköaseman kustannusarvio .....	79
9. TYÖSUUNNITELMA .....	80
9.1. Vaihtoehto 1: Kojeston ja laitteiden uusinta .....	80
9.2. Vaihtoehto 2: Täysin uusi sähköasema .....	81
9.3. Työturvallisuus .....	81
10. YHTEENVETO .....	83
11. LÄHDELUETTELO .....	85
12. LIITELUETTELO .....	89

## KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

A	Ampeeri
c	Jännitekerroin
C	Kapasitanssi
CIS	Customer Information System
$C_v$	Verkon vaiheen kapasitanssi
DA	Distribution automation
DEM	Distribution Energy Management
DLC	Distribution Line Carrier
DMS	Distribution Management System
EMV	Energiamarkkinavirasto
FA	Feeder Automation
Fa	Tarkkuusrajakerroin
Fs	Mittarivarmuuskerroin
$I_C$	Kapasitiivinen virta
$I_{dyn}$	Dynaaminen mitoitusvirta
$I_e$	Maadoitusvirta
IEC	International Electrotechnical Commission
$I_f$	Maasulkuvirta
$I_k$	Oikosulkuvirta
$I_k'$	Muutosoikosulkuvirta
$I_k''$	Alkuoikosulkuvirta
$I_{k2}$	Kaksivaiheinen vikavirta
$I_L$	Kuristimen virta
$I_N$	Nimellisvirta
IP	Kotelointiluokka
$I_{pn}$	Mitoitusensiövirta
$i_s$	Sysäysoikosulkuvirta
ISH	Isohaaran voimalaitos
$I_{sn}$	mitoitusvirta
$I_{th}$	Terminen oikosulkukestoisuus
JM	Jännitemuuntaja
kA	Kiloampeeri
Kj	Keskijännite
Kj	Keskijännite
kV	Kilovoltti
Ky	Komandiittiyhtiö
L	Induktanssi
L1,L2,L3	Vaiheet
LAN	Local Area Network
M	Kosketusjännitteeseen liittyvät erityistilanteet
m	Vaimeneva tasavirtakomponentti
MPa	Megapascali
MVA	Megavoltiampeeri
MWh	Megawattitunti
n	Vaimeneva vaihtovirtakomponentti

NCS	Network Control System
NIS	Network Information System
OK	Omakäyttökeskus
OKM	Omakäyttömuuntaja
OT	Ohjaustaulu
Oy	Osakeyhtiö
Pj	Pienjännite
PM	Päämuuntaja
P <sub>N</sub>	Nimellisteho
R	Resistanssi
R <sub>E</sub>	Maadoitusresistanssi
R <sub>f</sub>	Maasulun vikaresistanssi
R <sub>M</sub>	Muuntajan oikosulkuresistanssi
s	Sekunti
SA	Sähköasema
SCADA	Supervisory Control & Data Acquisition
SF6	Rikkiheksafluoridi
SFS	Suomen Standardisoimisliitto SFS ry
Sj	Suurjännite
S <sub>k</sub>	Ominaisoikosulkuteho
S <sub>n</sub>	Virtamuuntajan mitoitustaakka
T <sub>d</sub>	Aikavakio
t <sub>F</sub>	Virran kesto aika
TK	Tasasähkökeskus
t <sub>N</sub>	Nimellinen oikosulkuvirran kesto aika
U	Jännite
U <sub>a</sub>	Askeljännite
U <sub>e</sub>	Maadoitusjännite
U <sub>k</sub>	Kosketusjännite
U <sub>m</sub>	Maadoitusjännite
U <sub>n</sub>	Nimellisjännite
U <sub>N1</sub>	Ensiöjännite
U <sub>N2</sub>	Toisiojännite
U <sub>TP</sub>	Sallittu kosketusjännite
UTU	Urho Tuominen Oy
V	Voltti
VM	Virtamuuntaja
X	Reaktanssi
X <sub>d</sub>	Pitkittäisreaktanssi
Z <sub>F</sub>	Vikaimpedanssi
Z <sub>k</sub>	Kantaverkon impedanssi
Z <sub>k20</sub>	Kantaverkon impedanssi redusoituna 20kV puolelle
Z <sub>M</sub>	Muuntajan oikosulkuimpedanssi
κ	Sysäyskerroin
ρ <sub>E</sub>	Maaperän resistiivisyys.



## 1. JOHDANTO

Kemin Energia Oy on osakeyhtiö, jonka omistaa Kemin kaupunki. Kemin Energialla on kaksi sähköasemaa, joista toinen sijaitsee Syväkankaan kaupunginosassa ja toinen Karihaarassa. Syväkankaalla on kaksi 25 MVA:n muuntajaa ja Karihaarassa yksi 25 MVA:n muuntaja. Vuoden 2012 lopussa Kemin Energialla oli sähkösiirto-asiakkaita noin 15 000. Sähkönkäyttö vuonna 2010 oli 182 350 MWh. Sähkönsiirron lisäksi Kemin Energian palveluihin kuuluu asennuspalvelut ja kaukolämmön myynti. Kuvissa 1 on kuvat Peurasaaren varikolta ja Karjalahden kaukolämpökeskuksesta. /22/

Opinnäytetyön tavoitteena on kartoittaa Kemin Energia Oy:n Karihaaran 110/20 kV:n kytkinaseman kojeiston ja muiden laitteiden kunto. Samalla tutkitaan myös, missä kunnossa itse rakennus on. Tarkoitus on selvittää, onko rakennus siinä kunnossa, että se kannattaa säilyttää vai tuleeko rakennus purkaa, ja rakentaa tilalle täysin uusi sähköasema. Rakennuksen kuntoarvio tilataan ulkopuoliselta yritykseltä.

Opinnäytetyöhön sisältyy saneeraussuunnitelman teko. Ensisijainen tavoite on tehdä saneerausehdotus 20 kV:n kojeistolle ja muille laitteille. Työssä käsitellään myös 110 kV:n kytkinkentän laitteita ja niiden kuntoa. Tavoitteena on saada myös tehtyä mahdollisimman paikkaansa pitävä kustannusarvio saneeraukselle, mihin tarvitaan avuksi ulkopuolisen yrityksen tekemä budjettiarvio. Lisäksi työssä laaditaan uusittavien laitteiden/laitteistojen työvaiheen osalta työsuunnitelma ja mahdolliset pää- ja piirikaaviot. Sähköasemasta laaditaan myös layout-kuva. Lisäksi työssä käsitellään sähköasemiin liittyvää teoriaa ja tarkastellaan Karihaaran kytkinaseman vikavirtoja.



**Kuva 1 Peurasaaren toimitilat ja Karjalahden kaukolämpökeskus**

## 2. VIKAVIRRRAT JA NIIDEN LASKENTA

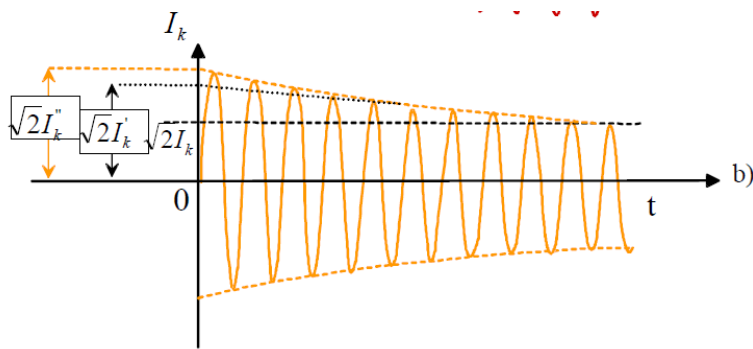
Sähköverkon suunnittelussa ja mitoituksessa on tärkeää analysoida eri vikatilanteita, joita ovat muun muassa oikosulut, ylikuormituksesta johtuvat katkokset ja maasulut. Vian aiheuttajia voivat olla esimerkiksi ylijännite, ylikuormitus, inhimillinen erehdys (esimerkiksi virheellinen kytkentä) ja toimintahäiriö tai virhetoiminta laitteissa. Viat voivat aiheuttaa sähköntoimituksessa osittaisen tai täydellisen katkeamisen. Vika voi olla syntyhetkestään riippuen joko symmetrinen (esimerkiksi johdon tai muuntajan 3~oikosulku) tai epäsymmetrinen (esimerkiksi 1- tai 2-vaiheiset oikosulut). Seuraavaksi on käsitelty hieman tarkemmin erilaisia vikavirtoja. /15/

### 2.1. Symmetrinen ja epäsymmetrinen oikosulku

Oikosulku voi tapahtua joko kahden tai kolmen vaiheen välille tai sitten vaiheen ja maan välille. Oikosulku voi johtua esimerkiksi eristysviasta tai jostain ulkoisesta kosketuksesta. Oikosulut voivat aiheuttaa käyttökeskeytyksiä, laitteiden ja johtojen lämpenemistä sekä henkilövahinkoja, joita ovat esimerkiksi valokaaren aiheuttamat palovammat. /27/

Vastuksettoman 3-vaiheisen oikosulun suuruus voi olla jopa 40-kertainen verrattuna nimelliskuormitusvirtaan. Jotta laitteet eivät vahingoittuisi, on oikosulku saatava katkaistua pois verkosta mahdollisimman nopeasti. /15/

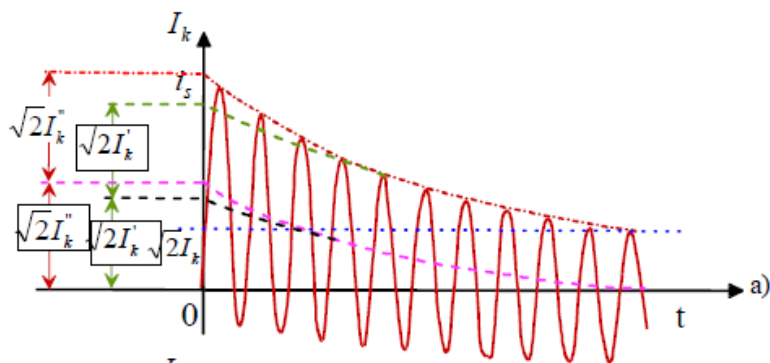
Kolmivaiheista oikosulkua syöttää normaalisti symmetrinen kolmivaihejännite. Oikosulkupiirin virta on melkein puhdasta induktiivista loisvirtaa, sillä piirin impedanssi on pääosin induktiivista. Oikosulkuvirrassa on vaihtovirtakomponentin lisäksi tasavirtakomponentti  $I_t$ , jonka arvo riippuu siitä, mikä on jännitteen hetkellisarvo oikosulun alkuhetkellä. Mikäli oikosulku sattuu jännitteen huippuarvon hetkellä, tasavirtakomponentti  $I_t=0$ , jolloin kyseessä on symmetrinen oikosulkuvirta (kuva 2). /13/



**Kuva 2 Symmetrinen oikosulkuvirta /30/**

Epäsymmetrisiä oikosulkuja ovat tyypillisesti 1-vaiheinen oikosulku, joka on toisin sanoen maasulku, sekä 2-vaiheinen oikosulku. Vian sattuessa vaiheet ja jännitteet ovat arvioiltaan epäsymmetriset, minkä vuoksi laskettaessa ei voida käyttää yksivaiheista sijaiskytkentä verkkoa. Koska kaikki vaiheet on tutkittava erikseen, kolminkertaistuu ratkaistavien virta ja jänniteyhtälöiden määrä. Epäsymmetristen tilojen laskeminen on helpompaa, jos laskenta suoritetaan symmetrisillä komponenteilla. /13/

Kuvassa 3 on esitetty kuvaaja epäsymmetrisestä oikosulusta, jossa tasavirtakomponentti on mukana aiheuttaen oikosulkuvirran epäsymmetrisyyden. Tässä kuvaajassa on oikosulun alkuhetkellä havaittavissa myös sysäyoikosulkuvirta  $i_s$ . Sysäyoikosulkuvirta on suurin oikosulussa esiintyvä virta, ja sitä tarvitaan laitteiden sähködynamisten kestävyysien mitoituksessa. /11/



**Kuva 3 Epäsymmetrinen oikosulkuvirta /30/**

Kummassakin, sekä epäsymmetrisessä että symmetrisessä oikosulkuvirrassa tasavirtakomponentti muuttuu. Alkuoikosulkuvirta  $I_k''$  ja muutosoikosulkuvirta  $I_k'$  vaimenevat pois omien aikavakioidensa mukaan, jonka jälkeen oikosulkuvirta jää pysyvään arvoon  $I_k$ . Nämä virran muutokset johtuvat verkossa pyörivistä koneista. Muutostilan oikosulkuvirran arvoa käytetään hyväksi myös katkaisijoiden katkaisukyvyyn määrittämisessä. /13/

## 2.2. 3- ja 2-vaiheinen oikosulku ja sen määrittäminen

Kolmivaiheinen oikosulkuvirta  $I_k$  saadaan laskettua käyttäen Theveninin menetelmää ja kaavaa 1, mutta jos vikaimpedanssi ei ole nolla, käytetään kaavaa 2.

$$I_{k3} = \frac{cU_n}{\sqrt{3}Z_k} \quad (1)$$

$$I_{k3} = \frac{cU_n}{\sqrt{3} * (Z_k + Z_f)} \quad (2)$$

missä

$c$  = taulukon 1 mukainen arvo

$U_n$  = vaihejännite vikakohdassa ennen vikaa

$Z_k$  = myötäkomponenttiverkon impedanssi

$Z_f$  = vikaimpedanssi

Kaavoissa 1 ja 2 käytetty jännitekerroin  $c$  on peräisin taulukosta 1, jonka arvot löytyvät puolestaan IEC 60909-0 standardista. /5/, /13/

### Taulukko 1 IEC 60909-0 mukainen jännitekerroin /5/

Nimellisjännite $U_n$	Maksimioikosulkuvirta $c_{max}$	Minimioikosulkuvirta $c_{min}$
pienjännite 100 V – 1000 V		
a) 230 V / 400 V	1.00	0.95
b) muut jännitteet	1.05	1.00
keskijännite 1 kV - 35 kV	1.10	1.00
suurjännite 35 kV - 230 kV	1.10	1.00

Oikosulun tapahtuessa kantaverkossa taikka tahtigeneraattoreiden läheisyydessä on oikosulkulaskussa käytettävissä reaktansseissa otettava huomioon koneiden aiheuttamat pitkittäis- ja alkureaktanssit. Alkuoikosulkuvirta saadaan laskettua samankaltaisella kaavalla kuin kaava 1, mutta otetaan huomioon koneiden aiheuttamat reaktanssit. Vaimennusaikavakio  $T_d''$  alkuoikosulkuvirralla on noin 0,1 s. Alkuoikosulkuvirta  $I_k''$  lasketaan kaavalla 3: /13/

$$I_k'' = \frac{cU_n}{Z_k'' + Z_f} \quad (3)$$

missä

$Z_k''$  = alkutilan oikosulkuimpedanssi

Muutosoikosulkuvirtaa  $I_k'$  laskettaessa otetaan huomioon koneiden aiheuttamat muutosreaktanssit. Muutosoikosulkuvirran vaimennus aikavakio  $T_d'$  on kolmesta kuuteen sekuntia. Muutosoikosulkuvirran arvoa tarvitaan suojarleiden virta-asetteluja mietittäessä, ja katkaisijat katkaisevat  $I_k'$ :n suuruisia virtoja oikosulun sattuessa. Muutostilan oikosulkuvirta saadaan määriteltyä kaavalla 4: /13/

$$I_k' = \frac{cU_n}{Z_k' + Z_f} \quad (4)$$

missä

$Z_k'$  = muutostilan oikosulkuimpedanssi

Mikäli halutaan saada selville niin sanotun pysyvän oikosulkuvirran arvo, täytyy tahtikoneiden reaktanssina käyttää niiden pitkittäisreaktanssia. Kantaverkon suojaus toimii noin 0,1-0,5:ssä sekunnissa, minkä vuoksi jatkuvan tilan arvoa ei ehditä saavuttaa. Jakeluverkossa jatkuvuustilan saavuttaminen on mahdollista, mutta hyvin harvinaista. /13/

Kolmivaiheinen oikosulkuvirta saadaan määritettyä myös ominaisoikosulkutehon  $S_k$  avulla (kaava 5). /5/

$$I_{k3} = \frac{c * S_k}{\sqrt{3} * U_N} \quad (5)$$

Kaksivaiheinen oikosulkuvirta  $I_{k2}$  saadaan laskettua kaavalla 6: /5/

$$I_{k2} = \frac{\sqrt{3}}{2} * I_{k3} \quad (6)$$

### 2.3. Impedanssin määrittäminen

Muuntajien, moottoreiden ja generaattoreiden impedanssit saadaan määriteltyä valmistajan niille määrittelemien niin sanottujen kilpiarvojen avulla. Impedanssi saadaan määriteltyä, kun kaavaan 7 sijoitetaan seuraavat laitteen kilpiarvoista löytyvät tiedot: suhteellinen oikosulkuimpedanssi ( $z_k\%$  tai  $u_k\%$ ), nimellisjännite  $U_n$  ja nimellisteho  $S_n$ .

$$Z = \frac{z_k\% * U_n^2}{100 * S_n} \quad (7)$$

Kaikki suureet on käsiteltävä samassa jänniteportaassa. Tämä tarkoittaa, että kun tietty jänniteporras on saatu valittua, niin kaikki impedanssit redusoidaan  $Z'$  kaavan 8 avulla samaan jänniteportaaseen.

$$Z' = Z * \left( \frac{U_{1n}}{U_{2n}} \right)^2 \quad (8)$$

missä

$Z$  = käsiteltävä impedanssi

$U_{1n}$  = ylempi jänniteporras

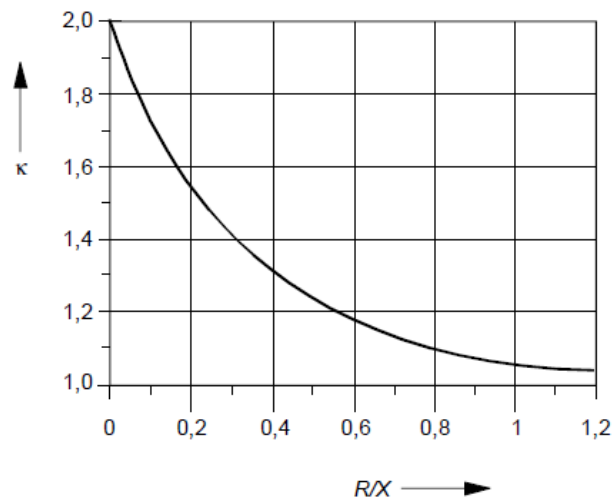
$U_{2n}$  = alempijänniteporras

## 2.4. Sysäysoikosulkuvirta ja terminen oikosulkuvirta

Oikosulun tapahtumisen jälkeen, noin yhden puolijakson kuluttua esiintyy **sysäysoikosulkuvirta**  $i_s$ , jota kutsutaan myös dynaamiseksi oikosulkuvirraksi  $I_{\text{dyn}}$ . Kansainvälisen standardin IEC60909-0 mukaan sysäysoikosulkuvirta saadaan määriteltyä kaavalla 9. /21/

$$i_s = \kappa * \sqrt{2} * I_k \quad (9)$$

Kaavassa 9 olevan sysäyskertoimen  $\kappa$  arvo saadaan oikosulkupiirin resistanssi  $R$  ja reaktanssi  $X$  suhteesta.  $\kappa$  arvon voidaan joko katsoa IEC standardista löytyvästä kuvasta 4 tai laskemalla kaavalla 10, joka löytyy myös viimeksi mainitusta standardista. /21/



**Kuva 4 Kertoimen riippuvuus  $R/X$  suhteesta /21/**

$$\kappa = 1,02 + 0,98e^{-3R/X} \quad (10)$$

Suurjännitepuolella sysäysoikosulkuvirran laskemiseen käytetään yleensä  $\kappa$ :n arvona 1,8, joka sijoitetaan kaavaan 9 ja pienjänniteverkossa kerroin on yleensä alle 1,44. /5/

$$i_s = 1,8 * \sqrt{2} * I_k \approx 2,5 * I_k \quad (9)$$

Dynaamisen kestävyuden lisäksi, laitteiden tulee kestää määräjän (normaalisti 1s) ja rikkoutumatta oikosulkuvirran aiheuttamaa lämpenemistä eli termistä oikosulkuvirtaa  $I_{th}$ . Suurin oikosulkuvirran tehollisarvo  $I_{th}$  saadaan laskettua kaavalla 11, jossa muuttuja  $m$  on vaimeneva tasavirtakomponentti, ja  $n$  kuvaa puolestaan vaimenevan vaihtovirtakomponentin vaikutusta. IEC standardissa on annettu kuvaajat, joista  $m$  ja  $n$  arvot saa selville (kuvat 5 ja 6). /5/

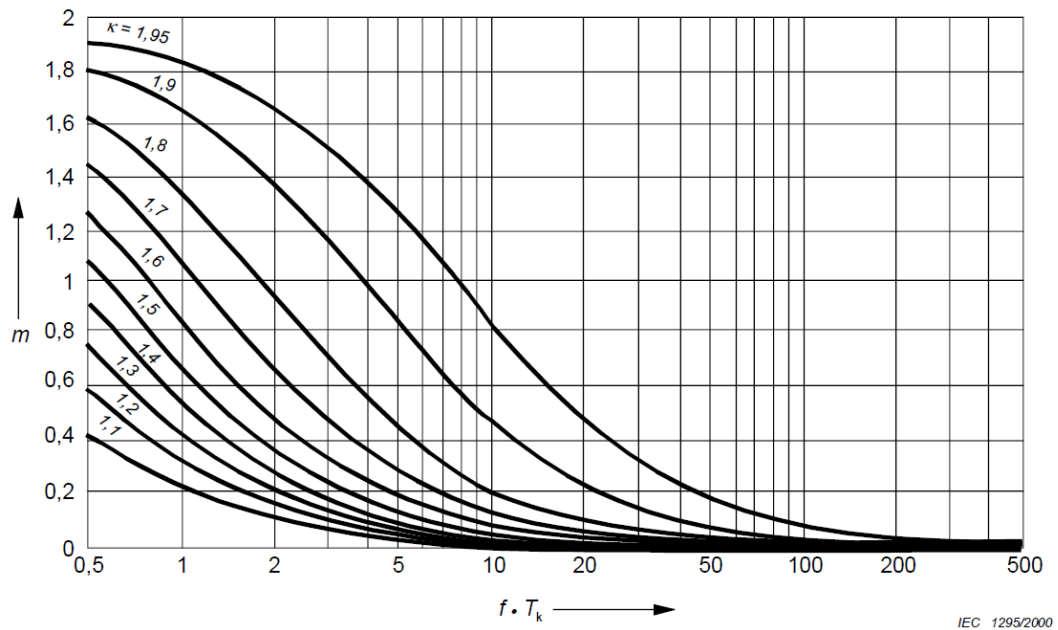
$$I_{th} = I_k'' \sqrt{(m+n)} \quad (11)$$

missä

$I_k''$  = oikosulkuvirran alkuarvo

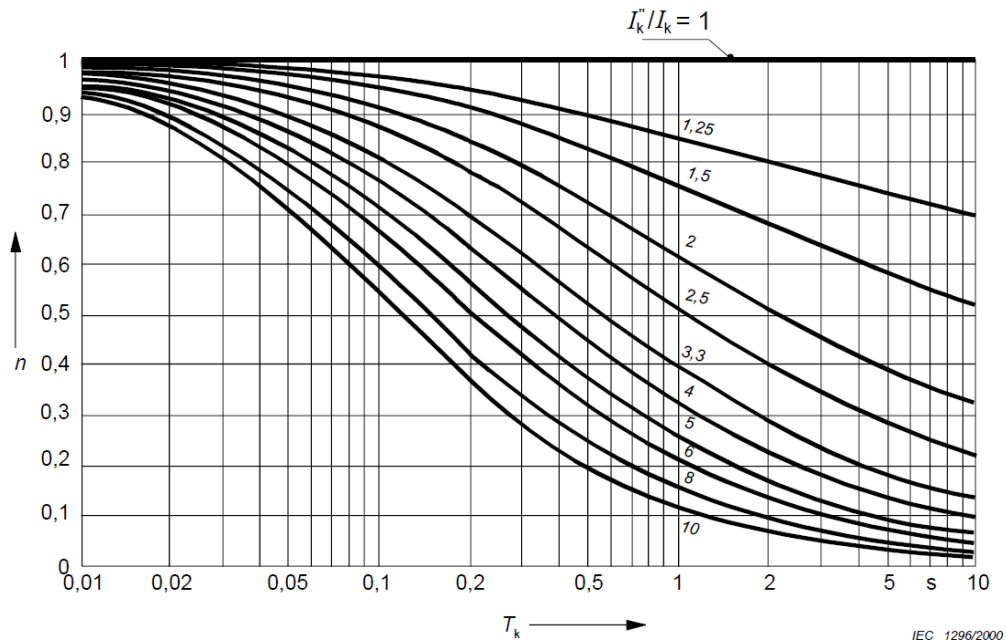
$m$  = vaimeneva tasavirtakomponentti

$n$  = vaimenevan vaihtovirtakomponentti



**Kuva 5  $I_{th}$ :n kertoimen  $m$  määrittäminen /21/**





**Kuva 6  $I_{th}$ :n kertoimen  $n$  määrittäminen 21/**

Virtapiirissä olevat laitteet kestävät termisen oikosulun, seuraavan yhtälöparin 12 ollessa voimassa. Yleensä termisen kestoisuus ilmoitetaan arvolla 1s. /5/

$$I_{th} \leq I_{thn}, \text{ kun } t \geq t_N \text{ tai} \quad (12)$$

$$I_{th} \leq I_{thn} * \sqrt{\frac{t_N}{t}}, \text{ kun } t \leq t_N$$

missä

$I_{thn}$  = laitteen nimellinen termisen oikosulkukestoisuus

$t$  = oikosulun kesto

$t_N$  = laitteen nimellistä termistä oikosulkukestoisuutta vastaava aika /5/

Kansainvälisessä IEC standardissa on taulukossa määriteltynä nimellisvirtojen (taulukko 2) lisäksi termiset  $I_{th}$  ja dynaamiset  $I_{dyn}$  virtakestoisuudet, jotka näkyvät alapuolella olevassa taulukossa 3.

**Taulukko 2 IEC:n määrittelemät nimellisvirrat /27/**

$I_N/A$ (teh. arvo)	400	630	800	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300
---------------------	-----	-----	-----	------	------	------	------	------	------	------	------

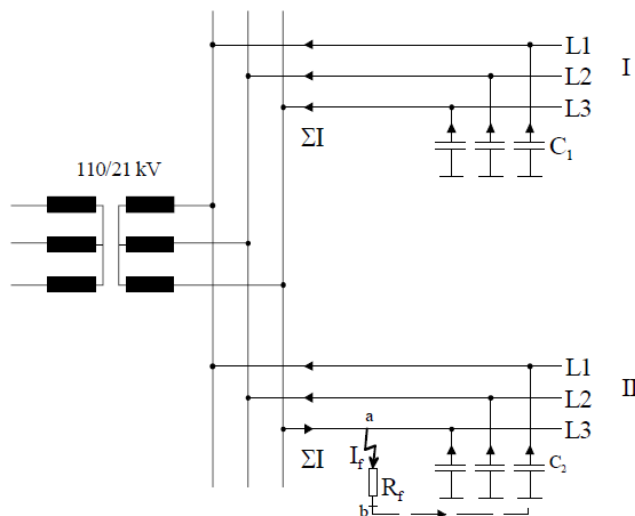
**Taulukko 3 IEC:n määrittelemät virtakestoisuudet /27/**

$I_{term}/kA$ (teh. arvo)	5,0	6,3	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100
$I_{dyn}/kA$ (huippuarvo)	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	250

## 2.5. Yksivaiheiset maasulut

Keskijänniteverkon maadoittamisessa käytetään joko maasta erotettua tai sammutettua verkkoa. /26/

**Maasta erotetun** 3-vaiheisen järjestelmän yksivaiheisen maasulun aikana maasulkuvirta pääsee kulkemaan vikapaikasta maahan vikaresistanssin kautta. Kuvassa 7 on esitetty tilanne maasta erotetusta verkon yksivaiheisesta maasulusta. /11/



**Kuva 7 Maasta erotetun verkon yksivaiheinen maasulku /28/**

Kun verkko on normaalitilassa, niin vaiheiden jännitteet ovat symmetrisiä maahan nähden, ja niiden summa on nolla. Myös maakapasitanssien kautta kulkevat virrat ovat symmetriset, ja yhteenlaskettuna niiden tulos on nolla. Mikäli maasulku tapahtuu ilman vikaresistanssia, on viallisen vaiheen jännite nolla, ja muiden vaiheiden jännite maahan nähden nousee pääjännitteen arvoon. Maasulkuvirta  $I_e$  voidaan laskea suorassa vikaresistanssittomassa tapauksessa kaavalla 13: /11/

$$I_e = \sqrt{3}\omega C_0 U \quad (13)$$

missä

$I_e$  = maasulkuvirta

$\omega = 2\pi f$

$C_0$  = yhden vaiheen maakapasitanssi

$U$  = verkon pääjännite

Kun maasulku tapahtuu siten, että vaihe ovat kosketuksissa toisiinsa vikaresistanssin  $R_f$  kautta, niin maasulkuvirta  $I_e$  pienenee sitä mukaan kuin vikapaikan resistanssi kasvaa. Tällöin  $I_e$  saadaan puolestaan laskettua kaavalla 14: /11/

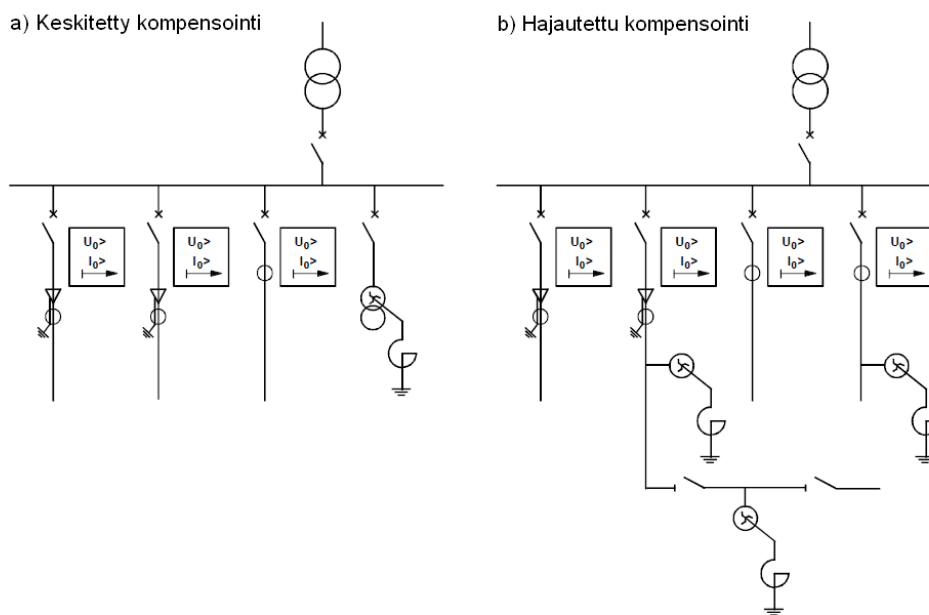
$$I_e = \frac{3\omega C_0}{\sqrt{1 + (3\omega C_0 R_f)^2}} * U \quad (14)$$

Maasulku aiheuttaa jännite-eron verkon nolapisteen ja maan välille. Tätä eroa kutsutaan nolajännitteeksi  $U_0$ , joka saadaan laskettua kaavalla 15. /11/

$$U_0 = \frac{1}{3\omega C_0} * I_e \quad (15)$$

## 2.6. Maasulun kompensointi

Jos ei tähtipistettä ole, pitää se tehdä sitä varten erikseen tarkoitetulla muuntajalla. Kompensointi voidaan toteuttaa kahdella eri tapaa eli keskitetysti tai hajautetusti, esimerkiksi kuvan 8 a) ja b) tavoin. /6/



**Kuva 8 Kompensoinnin toteutustavat /6/**

Keskitetyssä kompensoinnissa muodostetaan keinotekoinen tähtipiste esimerkiksi asentamalla kompensointikuristin Z-kytkentäisen maadoitusmuuntajan tähtipisteeseen. Keskitettyä kompensointia, jota on esitetty kuvassa 8a, joudutaan käyttämään, mikäli verkon muuntajan tähtipiste ei ole käytettävissä. Kuva 8b esittää puolestaan hajautettua kompensointia, missä johtojen varsille asennetaan kompensointikuristimia tarpeellinen määrä. /6/

Kompensointiaste  $K$  saadaan määriteltyä kaavan 16 avulla. Kun  $K$  on yksi tai lähelle sitä, niin jakeluverkon tuottama kapasitiivinen virta on täysin kompensoitu, eli puhutaan sammutetusta verkosta. Jos  $K < 1$  jakeluverkko on alikompensoitu, ja  $K > 1$ , niin jakeluverkko on ylikompensoitu. /6/

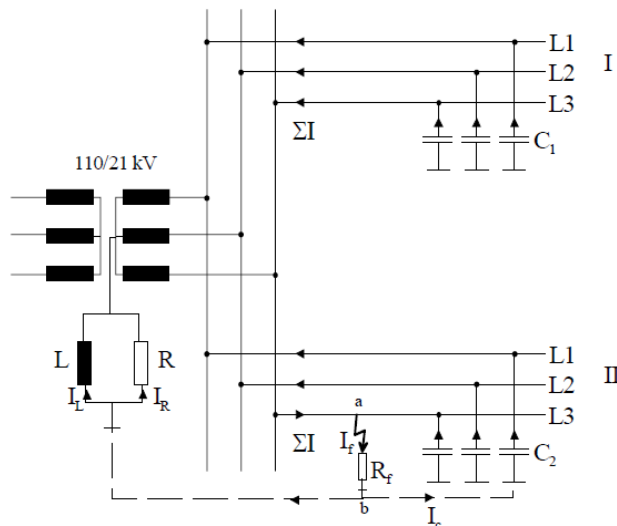
$$K = \frac{I_L}{I_C} \tag{16}$$

missä

$I_C$  = verkon kapasitiivinen maasulkuvirta suorassa maasulussa

$I_L$  = kuristimen virta suorassa maasulussa

Kuvassa 9 on esitetty tilanne sammutetun verkon yksivaiheisesta maasulusta. Sammutetussa verkossa on tähtipisteeseen kytketty induktanssi, jonka reaktanssi vastaa verkon johtojen maakapasitanssien reaktanssia. /26/



**Kuva 9 Sammutetun verkon yksivaiheinen maasulku /28/**

Kun otetaan huomioon verkon ja kompensointikuristimen häviöitä vastaavat resistanssit, niin vikapaikassa vaikuttava virta saadaan selville kaavalla 17. /28/

$$I_e = \frac{\sqrt{1 + R^2 \left( 3\omega C_0 - \frac{1}{\omega L} \right)^2}}{\sqrt{(R_f + R)^2 + R_f^2 R^2 \left( 3\omega C_0 - \frac{1}{\omega L} \right)^2}} * \frac{U}{\sqrt{3}} \tag{17}$$

missä

$\omega L$  = kompensointikuristimen reaktanssi

$R$  = kompensointikuristimen ja verkon häviöitä vastaavan resistanssin sekä mahdollisen kuristimen toisioresistanssin tähtipisteen redusoitu kokonaisresistanssi

$R_f$  = vikaresistanssi

Kuristimen kautta kulkeva virta  $I_L$  ja kapasitiivinen virta  $I_C$  ovat vastakkaisuuntaiset, ja ne summautuvat vikapaikassa yhteen, mikä merkitsee, että vikavirta jää hyvin pieneksi. Kun on kyseessä täysin kompensoitu verkko, ja kaavan 18 yhtälö toteutuu, eli sammutuskuristimen reaktanssi on samansuuruinen kuin maakapasitanssien reaktanssi, niin maasulkuvirta  $I_e \approx 0$ . /26/, /28/

$$\omega L = \frac{1}{3\omega C_0} \quad (18)$$

Kaavalla 19 saadaan laskettua nollajännite  $U_0$ . /29/

$$U_0 = \frac{1}{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + \left(3\omega C_0 - \frac{1}{\omega L}\right)^2} * I_e \quad (19)$$

Sammutetun verkon maasulussa nollajännite voidaan laskea likimäärin myös hieman lyhyemmällä kaavalla 20. /11/

$$U_0 = 3\omega^2 L C U_v \quad (20)$$

missä

$U_v$  = verkon vaihejännite

$C$  = verkon vaiheen kapasitanssi

$L$  = sammutuskelan induktanssi /8/

### 3. SÄHKÖASEMAT

Sähköasema on sähkön jakelu- ja siirtoverkon kohta, missä voidaan suorittaa erilaisia kytkentöjä sekä jännitteen muuntamista. Sähköasemilla voidaan suorittaa esimerkiksi huolto- ja korjaustoimenpiteiden vaatimat kytkentätoimenpiteet. Sähköasemalla pystytään kytkemään, katkaisemaan tai muodostamaan uusia kuormitusvirtapiirejä. Kytkennäisiä muutoksia joudutaan tekemään esimerkiksi silloin, kun halutaan erottaa jokin viallinen johto-osa pois verkosta. /14/, /15/

Kytkentöjä voidaan tehdä sähköasemalla olevilla kytkinlaitteilla (esimerkiksi katkaisijat ja erottimet), jotka sijaitsevat kojeistossa muun muassa suoja-releiden ja mittamuuntajien kanssa. Sähköaseman tärkeimpiin rakenneseisiin kuuluvat myös kiskostot ja muuntajat. Suojauksessa käytetään pien- ja keskijänniteverkossa (pj- ja kj-verkoissa) myös varokkeita. Ylijännitesuojaukseen käytetään puolestaan venttiilisuojia ja kipinävälejä. /14/

Sähköaseman rakenne riippuu siitä, kuinka tärkeässä verkon solmukohtassa se sijaitsee, onko sen tehtävänä ainoastaan siirtää tai jakaa sähköä, toimiiko se ainoastaan verkon kytkentä- tai muuntoasemana vai liittyykö sähköasemaan jokin voimalaitos. Sähköasemista käytetään myös nimitystä kytkinasema tai kytkinlaitos. /14/, /15/

#### 3.1. Kokoojakiskojärjestelmät

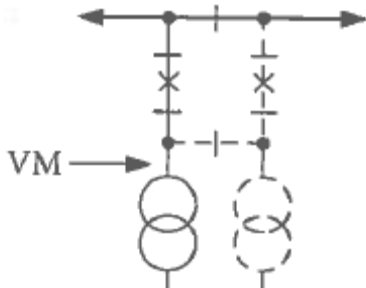
Kytkinlaitoksessa olevien kokoojakiskojen tehtävänä on jakaa energia mahdollisimman tarkoituksenmukaisella tavalla. Kokoojakisko tunnetaan nimellä pääkisko, kun siihen liitytään katkaisijalla. Kun liittyminen tapahtuu ainoastaan erottimella, sitä kutsutaan apukiskoksi. /15/

Sähköaseman kokoojakiskojärjestelmän valinta on riippuvainen monesta eri tekijästä. Tärkeimpiä valintaan vaikuttavia tekijöitä ovat muun muassa sähköaseman tehtävä ja vaadittava varmuus. Muita valintaan vaikuttavia tekijöitä ovat: kuormitusten ryhmittelyn tarve-, huolto- ja käyttökustannukset, kiskovian haitallisuus, kytkinlaitokseen liitettävät johdot ja muuntajat, sekä se millaisia kytkentöjä on mahdollista suorittaa. /14/

Seuraavissa kappaleissa on käyty läpi osa kiskojärjestelmien perustyypeistä, joita ovat:

- kiskoton järjestelmä
- yksikiskojärjestelmä (K-järj.)
- kisko-apukiskojärjestelmä (KA-järj.)
- kaksoiskiskojärjestelmä (KK-järj.)
- kaksoiskisko-apukiskojärjestelmä (KKA-järj.)
- 1½-katkaisijajärjestelmä (1½ K-järj.)
- kaksikatkaisijajärjestelmä (2K-järj., duplex)
- rengaskiskojärjestelmä. /14/

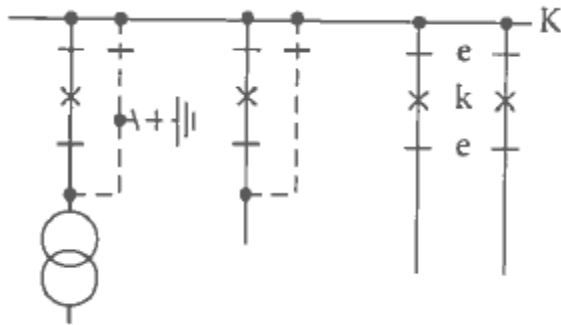
**Kiskoton järjestelmä** on hyvin yksinkertainen ja halpa järjestelmä, mutta sitä käytettäessä ei katkaisijaa voida ohikytkeä, eikä käyttö ole jaettavissa. Johdolle sijoitetaan yleensä erottimet kuvassa 10 esitetyllä tavalla. Muuntajan ja rinnankytkentäpisteen väliin on hyvä asentaa virtamuuntajat (VM). Tällaista kiskojärjestelmää käytetään yleensä yhden muuntajan pääte- ja johdonvarsi-asemilla. /14/



**Kuva 10 Kiskotonjärjestelmä /14/**

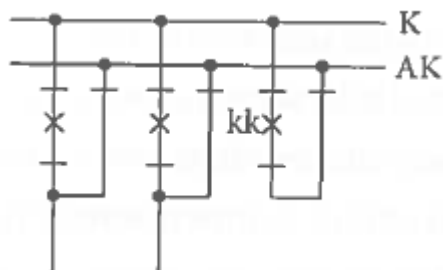
Kuvassa 11 on esitetty **yksikiskojärjestelmän** rakenne. Yksikiskojärjestelmä on ominaisuuksiltaan kiskottoman järjestelmän kaltainen, mutta tässä järjestelmätyypissä on mahdollista ryhmitellä kuormitusta ja syöttöjä jakamalla kiskosto osiin pitkittäiskatkaisijalla tai -erottimella. Mikäli kojeistossa on jokin vika, niin siitä aiheutuu aina käyttökeskeytys, joka kestää niin kauan, että vika saadaan korjattua. Tätä järjestelmätyyppiä voidaan käyttää yhden muuntajan kautta syötetyssä 20 kV:n rengasverkossa, jolloin katkaisijoiden huolto- ja korjaustyöt voidaan johtorenkaiden avulla tehdä ilman käyttökeskeytystä. /15/





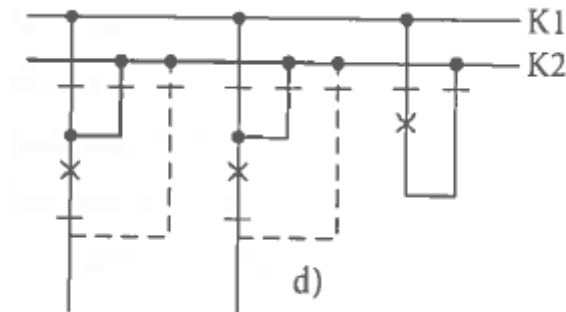
**Kuva 11 Yksikiskojärjestelmä /14/**

Kaikille jännitetasoille sopivassa **kisko-apukiskojärjestelmässä** toinen katkaisija pystytään huollon ajaksi korvaamaan apukiskokatkaisijalla. Suojaus on ohikytkentätilanteissa selektiivinen. Käyttöä ei voida kuitenkaan jakaa kahdelle kiskolle, mutta lähtöjä on mahdollisuus kytkeä ohikytkentäerottimilla yhteen muun kojeiston ohi, tai syöttää kiskokatkaisijalla kahta lähtöä. Kisko-apukiskojärjestelmä on esitetty kuvassa 12. /14/



**Kuva 12 Kisko-apukiskojärjestelmä /14/**

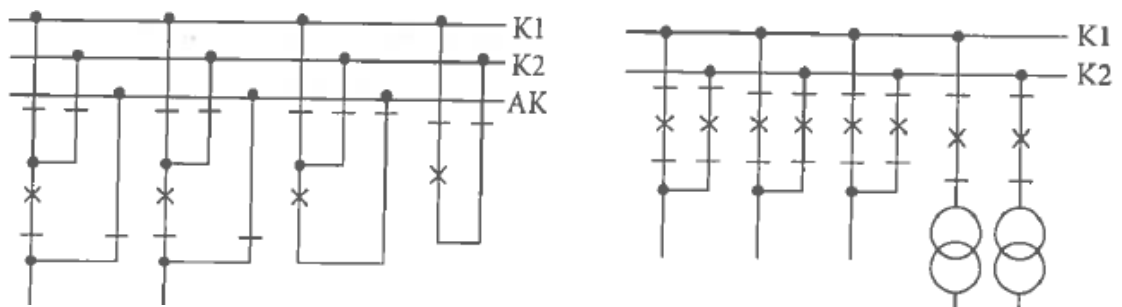
Jakeluasemilla ja teollisuuskojeistossa yleensä käytettävällä **kaksoiskiskojärjestelmällä** (kuva 13) voidaan käytönkin aikana ryhmitellä johtoja ja muuntajia sekä muuttaa ryhmittelyä. Myös huolto voidaan suorittaa jännitteettömänä ilman käyttökeskeytystä. Käyttö voidaan kyseisellä järjestelmällä jakaa myös kahteen ryhmään. Katkaisijoiden ohikytkentätilanteessa suojaus säilyy selektiivisenä. /15/



**Kuva 13 Kaksoiskiskojärjestelmä /14/**

**Kaksoiskisko-apukiskojärjestelmä** eroaa kaksoiskiskojärjestelmästä siten, että apukisko mahdollistaa monipuolisemmat kytkentävaihtoehdot. Tällä KKA-järjestelmällä voidaan tehdä muun muassa kaksi kiskoa yhtäaikaisesti jännitteettömäksi, kytkeä lähtöjä muun laitoksen ohi tai syöttää kahta lähtöä yhdellä katkaisijalla. Tämä järjestelmä on sopivin vaativaan käyttöön, mutta sen hinta on kallis johtuen kojeiden määrästä. /14/

KKA-järjestelmän kanssa kilpaileva kaksoiskatkaisijajärjestelmä, joka tunnetaan myös nimellä **duplex -järjestelmä**, on hyvin käyttövarma, kaukokäyttöön soveltuva, ja siinä käyttö on jaettavissa. Duplex-järjestelmän relesuojaus on yksinkertaisempi, koska apukiskoa ja kiskokatkaisijaa ei tarvita. Duplex-järjestelmän miinuspuolena on sen kalleus varsinkin 110 kV:n ja sitä suuremmilla jännitteillä. Sen kalleus johtuu siitä, että katkaisijoita ja mittamuuntajia vaaditaan kaksinkertaisesti verrattuna KKA-järjestelmään. KKA- ja duplex-järjestelmän kaaviot on esitetty kuvassa 14 a ja b. /14/



**Kuva 14 a) vasemmalla kaksoiskisko-apukiskojärjestelmä b) oikealla duplex -järjestelmä /14/**

## 4. KYTKINASEMAN KOMPONENTIT

Kytkinasemat sisältävät paljon erilaisia laitteita ja komponentteja, joiden avulla saadaan muun muassa muunnettua ja siirrettyä sähköä eteenpäin sekä tekemään sähköverkossa tarvittavia kytkentöjä.

Kytkinasemat pitävät sisällään muun muassa erilaisia kytkinlaitteita kuten katkaisijoita ja erottimia. Kytkinasemilla tarvitaan myös erilaisia suojauksia, joiden tehtäviin kuuluu esimerkiksi estää laitteiden vaurioituminen ylikuormitusten ja muiden vikatilanteiden sattuessa. Sähköasemilla on myös vaimittamuuntajia sekä sähköjakeluun liittyvää automaatiota.

Seuraavaksi on käyty hieman läpi näiden erilaisten komponenttien ja laitteiden toimintaa, käyttötarkoituksia sekä rakenneteita.

### 4.1. Kytkinlaitteet

Sähkö- ja turvallisuusmääräysten mukaan virtapiirin avaamiseen ja sulkemiseen on käytettävä kytkinlaitetta, jonka sulkemis- ja katkaisukyky sekä sallittu kytkentätiheys ovat tähän tarkoitukseen riittävät. Kytkinlaitteen tulee suljettuna kestää virtapiirin suurin mahdollinen virta siten, ettei siitä koidu vaaraa. Kytkinlaitteiden tehtäviin kuuluu verkon rakenteen muuttaminen tarvittaessa, viallisen vikapaikan erottaminen verkosta mahdollisimman nopeasti, sekä verkoston eri kohtien erottaminen toisistaan tarpeen vaatiessa. Kaikilla kytkinlaitteilla on normaalitila ja toimintatila, mutta ne jaetaan toimintaominaisuuksien perusteella neljään eri ryhmään: /14/, /11/

- katkaisijat, joiden tulee pystyä katkaisemaan suurempiakin verkossa esiintyviä virtoja
- erottimet, joiden täytyy pystyä pitämään kaksi verkon osaa sähköisesti erillään toisistaan
- kytkimet, jotka pystyvät vain kuormitusvirran katkaisuun
- kuormanerotin, joka pystyy toiminaan sekä kytkimenä että erottimena. /14/

### 4.1.1. Katkaisijat

Katkaisijat ovat kytkinlaitteita, joilla voidaan toteuttaa virtapiirin avaaminen ja sulkeminen joko käsi- tai automaattiohjauksella. Yleisin automaattisesti tapahtuva katkaisijan toiminta tapahtuu ylivirran (esimerkiksi oikosulku- tai maasulkuvirran) vaikutuksesta, jolloin avautumiskäsky tulee releeltä, joka on kytketty virtapiiriin mittamuuntajia apuna käyttäen. Jälleenkytkentäreleistyksen antama käsky voi aiheuttaa katkaisijan automaattisen sulkeutumisen. /14/

Katkaisijoille on ominaista pystyä avaamaan ja sulkemaan oikosulkupiiri vaurioitumatta ja vaaraa aiheuttamatta. Kyseinen ominaisuus puuttuu kytkimiltä, jotka kykenevät katkaisemaan ainoastaan nimellisvirtansa, eikä ylivirran vaikutus normaalisti avaa kytkimiä automaattisesti. /14/

## 4.2. Katkaisutapahtuma

Oikosulun sattuessa katkaisija saa suojareleeltä käskyn katkaista virtapiirin. Katkaisutapahtuman aikana pysyy virtapiiri suljettuna, koska katkaisijan koskettimien väliin syntyy valokaari, joka on tärkeä osa virran katkaisussa. /14/

Tasavirran katkaisussa venytetään valokaari mahdollisimman pitkäksi, ja samalla sitä jäähdytetään tehokkaasti. Tällä tavoin saadaan valokaaren jännite kasvatettua syöttöjännitettä suuremmaksi, jonka myötä valokaaren vastus kasvaa valokaarivirran pienetessä. Virta pienenee ja vastus kasvaa niin kauan, että valokaari sammuu. Mitä suurempi valokaarijännite on, niin sitä nopeampaa virta pienenee, ja valokaari sammuu. /14/

Vaihtovirtaa katkaistaessa käytetään hyväksi virran nollakohtia. Tällöin virta saadaan katkeamaan itsestään, kun valokaaren annetaan palaa nollakohtaan asti. Virran katkettua estetään valokaaren uudelleen syntyminen erilaisilla katkaisijatyyppeiden menetelmillä. Virran katkaisua helpottaa siis valokaaren pidentäminen, osiin jakaminen ja jäähdyttäminen. /15/

Katkaisijoiden tärkeimmät valokaaren ositus- ja jäähdytysmenetelmät perustuvat valokaarta ympäröivien seinärakenteiden ja sopivien väliaineiden käyttöön. Katkaisijat voidaan jakaa katkaisukammiossa käytettävän väliaineen mukaan seuraavanlaisiin ryhmiin:

- ilmakatkaisijat
- öljykatkaisijat
- vähäöljykatkaisijat
- paineilmakatkaisijat
- sf6-katkaisijat
- tyhjiökatkaisijat. /14/

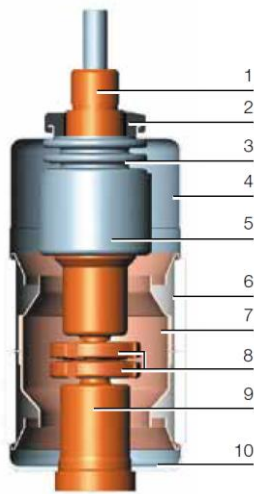
**Ilmakatkaisijan** katkaisukärjet ovat normaalipaineisessa ilmassa. Kyseiset kärjet on suojattu tulenkestävällä ja eristävällä valokaarisuojauksella, jossa on valokaaren sammuttamiseen käytettäviä välilevyjä. Suljetussa katkaisijassa virta kulkee pääkoskettimien kautta. Ilmakatkaisijoissa on erikseen myös valokaarikoskettimet, joiden väliin katkaisijan aukaisussa syntyy katkaisupalokaari, joka vedetään em. valokaarisuojauksen sammutuskammioon. Valokaari sammuu seuraavassa nolokohdassa, ellei ole kyse virtaa rajoittavista katkaisijoista, joissa valokaari sammuu ennen odotettua huippuarvoa. Pääkoskettimet säilyvät aukaisutilanteessa ehjänä, sillä ne aukeavat ennen valokaarikoskettimia. Jotkin valmistajat käyttävät ilmakatkaisijassa magneettipuhallusta, jolla valokaari saadaan virran magneettikentän avulla ohjattua sammutuskammioon, missä valokaari pitenee, jäähtyy ja lopuksi sammuu. Magneettipuhaltimen omaavia katkaisijoita valmistetaan 24 kV:n mitoitusjännitteeseen saakka. Tavallisesti ilmakatkaisijoita valmistetaan 500 V:n mitoitusjännitteeseen asti, ja kuormitusvirrat voivat olla 10 kA saakka. Normaalisti katkaisuvirrat ovat 25 - 50 kA. /15/

**Öljykatkaisijoissa** on yleensä sammutusaineena mineraaliöljyä, josta muodostuu valokaaren vaikutuksesta höyryä, joka yhdessä paineen nousun kanssa jäähdyttää valokaaren. Öljykatkaisijoiden katkaisukyky on huomattavasti heikompi verrattuna nykypäivän katkaisijoihin ja niissä tarvitaan suuria öljymääriä, minkä vuoksi niiden käyttö on hyvin harvinaista. /15/

**Vähäöljykatkaisijoissa** käytetään samanlaista sammutuskammiota kuin öljykatkaisijoissa. Vähäöljykatkaisijoissa on kuitenkin käytössä pienempi määrä öljyä, sillä jokaisella vaiheella on oma eristimien varaan rakennettu sammutuskammio. Tässä katkaisijassa öljyn höyrystymisestä syntyvä paine, ja paineen aiheuttama öljyn virtaus ovat perustana valokaaren sammutuksessa. Öljyn virtausta saadaan pumppauslaitteiden ja sammutuskammion muotoilun avulla suunnattua valokaarta kohti. Vähäöljykatkaisijan ohjaaminen tapahtuu ohjaimessa olevalla kiinnikytöntäjäousella, joka voidaan virittää joko moottorin avulla tai käsin. Tyypillisesti vähäöljykatkaisijoita käytetään 1,7 - 123 kV:n jännitteillä. /14/

**Paineilmakatkaisijat** sopivat hyvin silloin kun, oikosulkuvirran aiheuttamia katkaisuja tapahtuu usein, ja jos nimellis- ja oikosulkuvirrat ovat suuria. Tässä katkaisijatyypissä valokaaren sammutus ja katkaisijan ohjaus tapahtuu paineilman avulla. Miinuspuolena paineilmatkaisijoissa on katkaisijan toimimisesta syntyvä melu sekä se, että se tarvitsee paineilmaverkostoa tehokkaalla ilmankuivausjärjestelmällä. Katkaisupäitä tarvitaan vain yksi 72,5 kV:n jännitteeseen asti. Jännitteiden ollessa tätä suurempia kytketään useampia katkaisupäitä sarjaan, jolloin jännitteen jako tapahtuu joko jännitteenjakokondensaattoreilla tai -vastuksilla. /14/

**Tyhjökatkaisija** on rakenteeltaan yksinkertainen (kuva 15), sillä se tarvitsee periaatteessa ainoastaan tyhjiösäiliössä olevan kiinteän ja liikkuvan koskettimen. Koskettimien irrotessa toisistaan syntyy kosketinpinnoilta höyrystynyt ionisoitunut metallipilvi, johon valokaari jää palamaan. Virran saavuttaessa nollakohtansa ionisaatio katoaa ja höyry tiivistyy. Höyry kiinnittyy pikaisesti kosketinpinnoille, jolloin kosketinväli saa nopeasti hyvän jännitelujuuden, minkä ansiosta valokaari saadaan sammumaan. Koskettimet tarvitsevat ulkoista puristusvoimaa, jottei mitoitus- ja oikosulkuvirtojen johtamisesta aiheudu liiallista lämpenemistä. Katkaisuyksikköä ei tyypillisesti tarvitse huoltaa, ja sen sähköinen elinikä on täydellä oikosulkuvirralla noin 20 - 100 toimintakertaa ja mitoitusvirralla 10 000 - 20 000 toimintaa. Katkaisijan ja ohjaimen mekaaninen ikä on puolestaan 10 000 - 30 000 toimintakertaa. Keski-jännitealueella tyhjökatkaisijan mitoitusvirrassa päästään 2000 - 3000 A:iin, kun katkaisukyky on 31,5 - 40 kA, jolloin vikavirran sulkemiskyky on 80 - 104 kA. /14/

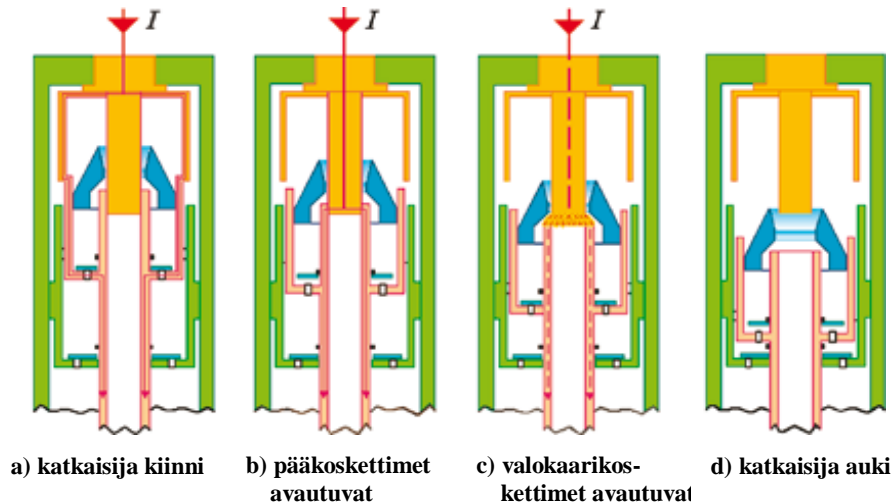


1. Varsiosa
2. Kierre suojaus
3. Palkeet
4. Katkaisijan kotelo
5. Suoja
6. Keraaminen eristin
7. Suoja
8. Koskettimet
9. Pääteosa
10. Katkaisijan kotelo

**Kuva 15 Tyhjäkatkaisijan rakenne /8/**

**SF<sub>6</sub>- katkaisijassa** käytetään valokaaren sammutukseen, nimensä mukaisesti, palamatonta kaasua nimeltä rikkiheksafluoridi (SF<sub>6</sub>). Tällä katkaisijalla on kilpaileviin katkaisijatyyppeihin verrattaessa yhden katkaisuyksikön suurempi palaavan jännitteen kestävyys, minkä myötä myös katkaisuteho on suurempi. SF<sub>6</sub>-katkaisijat tarvitsevat myös vähän huoltoa, sekä katkaisussa syntyvät ylijännitteet ovat pieniä. Niiden mekaaninen ikä on noin. 5000 - 10000 toimintakertaa, ja katkaisuelimet kestävät täydellä oikosulkuvirralla noin 10 - 20 katkaisukertaa ja mitoitusvirralla tuhansia toimintakertoja. SF<sub>6</sub>-katkaisijoista ensiksi kehittyneimmät on toteutettu kaksipainekatkaisijoina, mikä tarkoittaa sitä, että katkaisutilanteessa kaasu johdetaan korkeapainetasosta (1,5 - 2 MPa) matalapainetasoon (0,4 MPa). Koska viimeksi mainittuihin katkaisijoihin tarvittiin monia apulaitteita, siirryttiin yksipainejärjestelmään, jossa avausliikkeessä liikkuvaan koskettimeen on kytketty mänty-sylinteri-järjestelmä, joka saa aikaan paine-eron ja kaasun virtauksen (niinsanottu pufferikatkaisija). Tämä katkaisumenetelmä vaatii kuitenkin suurta ohjausenergiaa, jonka vuoksi kehiteltiin SF<sub>6</sub>-katkaisijoita, joissa energia valokaaren sammuttamiseen saadaan katkaistavasta virrasta. Katkaisukammiossa olevien venttiilien ja valokaaresta johtuvan paineen nousun avulla saadaan luotua valokaarta jäähdyttävä virtaus. Tätä katkaisuperiaatetta kutsutaan self-blast- eli itsepuhallusperiaatteeksi, jonka toiminta on esitetty kuvassa 16. Katkaisijaa aukaistaessa alkavat ensin aueta pääkoskettimet (kuva 16.b), joista virta siirtyy valokaarikoskettimille (kuva 16.c). Valokaarikoskettimien väliin syntyy valokaari, kun ne alkavat aueta pääkoskettimien aukeamisen vielä jatkuessa.

Koskettimien avautuminen liikuttaa myös niiden alapuolella olevaa mäntää, jolloin alapuolella oleva kaasutila puristuu kokoon. Kaasutilan kokoon puristumisesta syntyy voimakas valokaaren kohdistettava kaasuvirtaus, jonka ansiosta valokaari saadaan sammutettua. Suukappaleen avulla saadaan säädettyä kaasuvirtauksen voimakkuutta ja suuntaa. /14/



**Kuva 16 Self-blast-katkaisuperiaate /1/**

### SF<sub>6</sub>-kaasun edut ja haitat

SF<sub>6</sub>-kaasua käytetään paljon sähköalalla, ja etenkin tätä ainetta käytetään paljon suurjännitelaitteistoissa esimerkiksi katkaisijoissa valokaaren sammutukseen ja kytkinlaitoksissa eristysaineena. Puhdas SF<sub>6</sub>-kaasu on hajutonta, palamatonta ja myrkytöntä. Laitteet, joissa käytetään kyseistä ainetta, ovat erittäin käyttövarmoja, ja niillä on hyvä eristyskyky, sekä valokaaren sammutuskyky on jopa 3 - 4 kertaa parempi kuin ilmalla. SF<sub>6</sub> eristeisen kojeiston etuna on myös sen pienempi tilan tarve verrattuna avokoeistoon. /7/, /18/

Huomattavana haittapuolena SF<sub>6</sub>-kaasussa on kuitenkin, että se on voimakas kasvihuonekaasu. Ilmakehään päästessä se pysyy siellä kauan, ja sillä on ilmakehää lämmittävä vaikutus. Tämä kaasu ei kuitenkaan tuhoa otsonikerrosta, mutta se kuuluu kuitenkin Kioton pöytäkirjassa mainittuihin ilmakehää lämmittäviin kaasuihin. Suljetussa

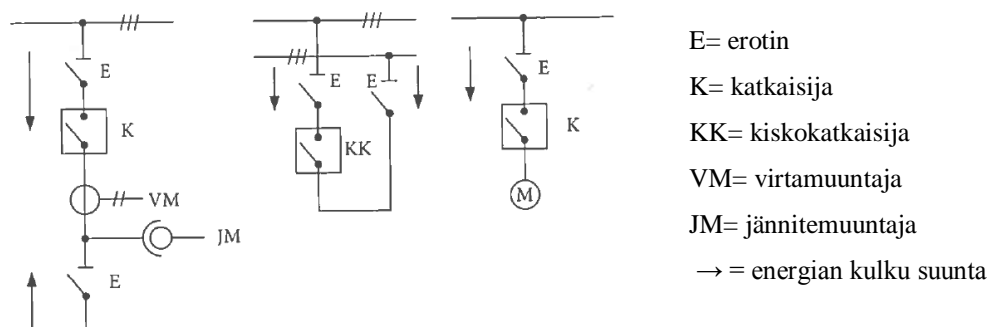


tilassa SF6-kaasu voi myös syrjäyttää hapen. Sähköalalla pidetäänkin huolta laitteistojen tiiveydestä, kaasun talteenotosta ja kierrätyksestä sekä joka vuotuisesta kaasutaseen seurannasta. /7/, /18/

#### 4.2.1. Erottimet

Erottimien tehtävänä on Sähköturvallisuusmääräysten mukaan turvallisen avausvälin muodostaminen erotettavan virtapiirin ja muun laitoksen välille, ja tehdä työskentelystä turvallista tekemällä laitos jännitteettömäksi. Avausvälin on tärkeää olla luotettava, jonka vuoksi sfs-standardissa vaaditaan, että avausväli on näkyvissä, tai erotin on varusteltava luotettavalla mekaanisella asennonosoituksella. Myös jännitelujuus erottimen avausvälissä täytyy olla suurempi verrattuna muuhun ympäröivään eristykseen. Jotta vaara aiheuttava erottimen käyttö estetään, niin standardissa vaaditaan, että erotin pystytään lukitsemaan auki- ja kiinniasentoon. Erotin ei ole tarkoitettu kuormitetun virtapiirin aukaisemiseen tai sulkemiseen, joten siltä ei edellytetä kykyä katkaista tai sulkea virtapiiriä. Erottimella pystytään käytännössä silti erottamaan jokin lyhyt kiskosto tai johto, sekä katkaisemaan muuntajan tyhjäkäyntivirta. Erottimen täytyy pystyä kiinniasennossa myös johtamaan kuormitus ja oikosulkuvirrat ongelmitta. /14/, /34/

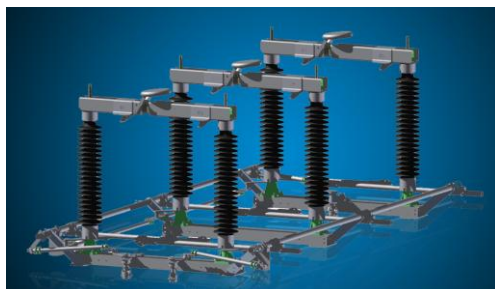
Mikäli energiaa voidaan syöttää katkaisijan molemmiin puolin, niin erottimet on myös asennettava katkaisijan kummallekin puolelle. Jos syöttö on mahdollista vain yhdestä suunnasta, erotin sijoitetaan katkaisijan ja syöttävän kiskon väliin. Käyttötavat on esitelty kuvassa 17. /14/



**Kuva 17 Esimerkkejä erottimien käytöstä. /14/**

Erottimet voivat olla rakenteeltaan yksi- tai kolminapaisia. Yleensä erottimien virtakestoisuusvaatimukset ovat suuremmat verrattuna kytkinlaitoksen todellisiin kuormitus- ja oikosulkuvirtoihin. Erottimissa olevien eristimien materiaalina voidaan käyttää valuhartsia, posliinia tai silikonipäällysteistä komposiittimateriaalia. Erottimessa olevat kiinteät koskettimet ja liikkuvat veitset huolehtivat virran kuljettamisesta. 123 kV:n ja sitä suuremmilla jännitteillä erottimet on koottu 1 - 3-eristimisistä navoista. Erilaisten erotintyyppien lajittelun perusteena on muun muassa koskettimien liikkumissuunta ja tukieristimien lukumäärä. Erottimia voidaan ohjata joko käsin tai sitten voidaan käyttää moottori- tai paineilmaohjainta. /14/

Yleinen erotintyyppi on kytkinlaitoskäyttöön hyvin soveltuva kiertoerotin (kuva 18), jonka kosketinvarsi liikkuu vaakatasossa (horisontaalisti). Kiertoerottimet voivat olla kaksi tai kolme pilarisia. Tartuntaerottimet kuuluvat myös yleisimpiin käytössä oleviin erotintyyppeihin, ja ne voidaan jakaa vielä pystysuunnassa liikkuviin vertikaalitartuntaerottimiin, horisontaalitartuntaerottimiin ja saksierottimiin. Sekä kierto- että tartuntaerottimet on mahdollista varustaa maadoitusveitsillä. Kj-verkossa käytetään avo- ja pylväsmuuntamoiden erottimina monesti piiskaerottimia, joissa nimensä mukaan erotin on varustettu apukoskettimilla, joita kutsutaan katkaisupiiskoiksi, jotka avautuvat pääkoskettimien avautumisen jälkeen. Sisäkytkinlaitoksilla käytetään yleensä puolestaan veitsierottimia. Kuormaerotin on tavallaan katkaisijan ja erottimen välimuoto, koska sillä pystytään katkaisemaan melko suuria kuormitusvirtoja sekä pienien oikosulkuvirtojen kytkeminen on mahdollista. Tässä erottimessa on erilliset pää- ja katkaisukoskettimet. Kuormaerotinta voidaan käyttää muun muassa johtosilmukan avaamiseen tai sulkemiseen, maksimissaan 1250 kVA:n tyhjäkäyvän muuntajan erottamiseen sekä kuorman erottamiseen. Lisäämällä kuormaerottimeen varoke saadaan varokekuormaerotin, jota käytetään yleensä 1250 kVA:n tai sitä pienemmissä muuntamoissa. /14/



**Kuva 18 Kiertoerotin**

### 4.3. Relesuojaus

Suojareleet huolehtivat yhteistyössä mittamuuntajien ja katkaisijoiden kanssa verkon laitteiden suojauksesta. Mittaava suojarele on osa suojausjärjestelmää, ja suojareleet voidaan jaotella ensiö- eli primäärireleisiin, sekä toisio- eli sekundäärireleisiin, jotka yhdistetään mittamuuntajien kautta päävirtapiireihin. Suojareleistyksen toteutukseen vaikuttaa suojattava kohde ja sen tärkeys, sekä verkon maadoitustapa, ja onko kyseessä säteittäis- vai silmukkaverkko. /14/, /15/

Relesuojauksen perusvaatimuksia ovat:

- Selektiivisyys, eli vain vikaantunut verkon osa erotetaan muusta verkosta.
- Suojaukselta vaaditaan, että se kattaa aukottomasti koko suojattavan järjestelmän.
- Suojauksen on toimittava nopeasti, jotta vian aiheuttamat vahingot ovat mahdollisimman pienet.
- Luotettavuus eli suojauksen tulee olla toimintavarma. Suojaus ei siis saa aiheuttaa turhia laukaisukäskyjä. Luotettavuuteen kuuluu myös suojauksen käyttövarmuus, eli vian tapahtuessa releen on toimittava.
- Suojauksen herkkyyks on myös yksi relesuojauksen vaatimuksista. Releen täytyy toimia myös silloin, kun vikavirrat ovat normaalia pienemmät käyttötilanteen takia.

/14/

#### 4.3.1. Suojareleiden rakenne ja toiminta

Suojareleiden toiminta perustuu mitattavan suureen muutosten tarkkailuun. Kun releen tarkkailema suure pysyy asetelluissa toiminta-arvoissa, niin rele on normaalitilassa. Kun suure ylittää toiminta-arvon, rele havahtuu. Mikäli rele pysyy havahtuneena tarpeeksi kauan, niin se antaa joko laukaisu- tai hälytyskäskyn tai kummankin. Rele palautuu, mikäli mitattava suure asettuu takaisin asetteluarvoon. Toiminta-aika on vian alkuhetkestä katkaisuun tai hälytykseen kuluva aika, jota voidaan pidentää hidastuksen avulla. Palautumisajalla tarkoitetaan aikaa, joka kuluu mittasuureen pienenemisestä alle

asetteluarvon releen palautumiseen. Vian alkamisesta vikapaikan erottamiseen kuluva aikaa sanotaan erotusajaksi. /14/

Releiden tekniikan perusteella releet voidaan jakaa sähkömekanisiin-, staattisiin- ja mikroprosessori- eli digitaalireleisiin. Vanhin suojareletyyppi on sähkömekaniset releet, joissa on liikkuvia osia, ja niiden releen toimiminen tapahtuu virran aiheuttaman magneettikentän kasvun vaikutuksesta. Ne ovat toiminnaltaan yksinkertaisia ja kestäviä, mutta aika kookkaita ja epätarkkoja. Staattisissa- eli elektronisissa releissä on puolijohdekomponentteja ja mikropiirejä, jotka mahdollistavat vaativampien suojaustoimintojen toteuttamisen sähkömekanisiin releisiin verrattaessa. Niiden palautumisaika on pienempi kuin mekanisissa releissä, ja ne ovat myös tarkempia, mutta haittapuolina ovat ylijänniteherkkyys, aputehontarve ja elektronisten osien vanheneminen. Digitaaliset releet ovat uusimpia, ja niiden suojaustoiminnot ovat muihin releisiin verrattuna monipuolisempia. Digitaaliset releet ovat nopeita, mutta kalliita. /14/

#### 4.3.2. Yleisimmät suojareleet

**Ylivirtareleiden** toiminta perustuu nimensä mukaan virta-arvon muutoksen seurantaan, eli asetellun virta-arvon ylittyessä rele toimii. Ylivirtareleet voidaan jakaa erityyppihin:

- Hetkellisiin ylivirtareleisiin, joita voidaan käyttää lähioikosululta suojaamiseen.
- Vakioaikaylivirtareleisiin, joiden havahtuminen tapahtuu virta-asetteluarvon ylittyessä. Kun havahtuminen on kestänyt asetellun ajan, niin rele toimii. Rele palautuu virran alittuessa asetteluarvonsa. Näitä käytetään suojaamaan muun muassa säteisjohtoa, muuntajaa ja generaattoria.
- Käänteisvirtareleisiin, joiden vikavirran suuruus vaikuttaa toiminta-ajan nopeuteen eli mitä suurempi vikavirta sitä nopeampi on laukaisu.
- Termisiin- eli ylikuormitusreleisiin. Näitä niin sanottuja ”lämpöreleitä” käytetään muun muassa moottoreille, muuntajille ja kaapeleille. /14/, /37/

**Yli- ja alijännitereleet** toimivat puolestaan jännitteen ylittäessä tai alittaessa verkossa sallitut jännite arvot. Alijännitereleitä käytetään esimerkiksi isojen moottorien erottamiseen verkosta ja verkossa esiintyvien alijännite vaurioiden minimointiin. Ylijännitereleitä on

puolestaan käytössä muun muassa aikahidastettuna maasulkujen havaitsemisessa, vaarallisen jännitteen nousun varalta tahtigeneraattoreilla. Jännitereleitä käytetään myös rinnakkaiskompensointi laitteiden jännitteensäätäjien täydennyksenä. /14/, /37/

Silmukkaverkon selektiivisessä suojauksessa käytetään **distanssireleitä**, jotka laskevat impedanssin johdon virrasta ja alkupään jännitteestä, mitkä saadaan mitattua virta- ja jännitemuuntajien avulla. Rele arvioi impedanssin mukaan vikapaikan etäisyyden, mitä lähempänä vika on, sitä lyhyempi on releen toiminta-aika. Vian suunnan rele päättelee jännitteen ja virran vaihesiirtokulman avulla. Suojaus distanssireleillä perustuu niin sanottuihin vyöhykkeisiin, joilla on oma ulottuma ja aikahidastus. Distanssireleitä on kahta erityyppiä ei-kytkeviä ja havahtuvia. Ei-kytkevät mittaavat jokaisen vaiheen oiko- ja maasulkuja. Havahtuvat distanssireleet, mittaavat havahtumisen jälkeen vain sitä vikaa, mihin se on havahtunut. /14/, /37/

**Differentiaalireleet** laukaisevat vain suojausalueellaan olevissa vioissa. Tämä rele mittaa suojausalueen tulevien ja lähtevien virtojen erotusta, ja rele toimii jos erotus ylittää asetteluarvon. Toimintansa vuoksi niitä kutsutaan myös erovirtareleiksi. Ne ovat yleensä vakavoituja kuormitusvirran suhteen, joka tarkoittaa sitä, että rele vaatii sitä suuremman erovirran mitä suurempi on kuormitusvirta. Differentiaalirele on tärkein muuntajan suojauksessa käytettävä rele, mutta sitä käytetään myös generaattorien ja kiskoston suojauksessa, sekä lyhyiden 110 kV:n kaapeliyhteyksien suojana. /14/, /37/

**Taajuusreleitä** käytetään muun muassa tehonavaussuojauksessa, missä vian sattuessa aiemmin valittu kuorma irrotetaan verkosta. Niitä käytetään lisäksi johdonvarsigeneraattoreiden irrottamisessa verkosta. Taajuusrele toimii nimensä mukaisesti, silloin kun taajuus poikkeaa asetteluarvosta. /14/

**Nollavirtareleet** mittaavat vaihevirtojen summavirtaa, ja ne toimivat maasuluissa. Eräs nollavirtarele on **maasulun suuntarele**. Rele pystyy mittaamaan vikavirran lisäksi nollavirran ja nollajännitteen vaihekulman avulla vian suunnan. /14/

Valokaarisuojaus saadaan toteutettua valokaarireleellä, jonka avulla saadaan vähennettyä sähköaseman laitteiden vaurioitumisriskiä ja saadaan myös huomattavasti parannettua henkilöturvallisuutta. Valokaarisuojaus sammuttaa valokaaren katkaisemalla sitä syöttävän virran. Laukaisu voi tapahtua ainoastaan valokaaritiedosta, taikka valokaaritiedon lisäksi voidaan säätää laukaisulle oikosulkuvirta- ja/tai maasulkuvirtaehto. Valokaarireleen toiminta-aika on  $\leq 2,5\text{ms}$ , ja katkaisijan toiminta-aika 35 - 100 ms. /37/

Muita suojaretyyppejä:

- Jälleenkytkentäreleet, joita käytetään ainoastaan avojohtojen suojauksessa.
- Tehoreleet, jotka mittaavat pätötehon suuntaa.
- Yli- ja alimagnetointireleet, joita tarvitaan tahtigeneraattoreiden ja tehomuuntajien suojauksessa.
- Kaasureleet, joita käytetään öljytäytteisten muuntajien ja reaktorien suojauksessa.
- Vetoreleet, joita käytetään esimerkiksi, kun differentiaalisuojauksessa etäisyydet ovat pitkiä ja tarvitaan johdon päiden välille apuyhteys. /14/, /37/

#### **4.4. Mittamuuntajat**

Mittamuuntajista yleisimpiä ovat jännite- ja virtamuuntajat, joita nimensä mukaisesti käytetään jännitteen ja virran mittaukseen. Niiden tehtäviin kuuluu muun muassa eristää mittauspiiri päävirtapiiristä, muuttaa mitta-alaa siten, että primääripiirin jännitteet ja virrat ovat suureltaan sopivia toisiokojeille kuten esimerkiksi releille. Mittamuuntajat mahdollistavat myös mittarien sijoituksen etäälle mittauspaikasta, ja ne suojaavat myös mittauspiiriä ylikuormittumiselta. /14/, /24/

##### **4.4.1. Virtamuuntajat**

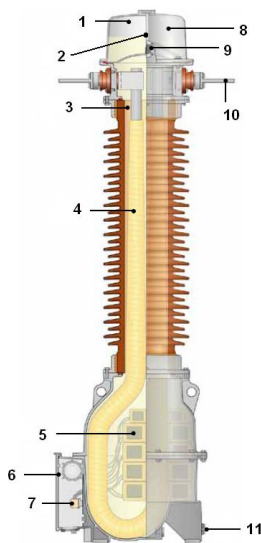
Virtamuuntajat (VM) muuntavat ensiöpiirin virran releille ja mittareille sopiviksi virroiksi. Virtamuuntajilla saadaan myös galvaanisesti erotettua ensiö- ja toisiovirtapiirit toisistaan. Virtamuuntajat voidaan jakaa virtamuuntajiin, joita käytetään mittauksessa sekä suojaustarkoituksessa käytettäviin virtamuuntajiin. Virtamuuntajissa voidaan käyttää

kahdentyyppisiä sydämiä (mittaus- ja suojaussydän). Mittaussyhdäntä tarvitaan nimensä mukaan mittauksessa ja suojaussyhdäntä puolestaan suojauksessa. Mikäli VM sisältää enemmän kuin yhden sydämen, niin jokaisella sydämellä on oma toisiokäämi, mutta yhteinen ensiökäämi. /6/, /3/

Virtamuuntajien suureista kerrotaan IEC 6044-1 standardissa, jonka perusteella virtamuuntajan tärkeimmät teknilliset arvot ovat: /3/

- Terminen mitoitusvirta  $I_{tn}$
- Dynaaminen mitoitusvirta  $I_{dyn}$
- Mitoitusensiövirta  $I_{pn}$ 
  - Standardisoidut nimellisarvot, joista alleviivatut ovat suositeltavimmat, ovat seuraavanlaiset: 10 - 12,5 - 15 - 20 - 25 - 30 - 40 - 50 - 60 - 75A
- Mitoitustoisiovirta  $I_{sn}$ 
  - Toisiovirralla on standardisoitu seuraavanlaiset arvot: 1 A, 2 A ja 5 A
- Mitoitustaakka  $S_n$ 
  - Tarkoittaa virtamuuntajan kuormituksen impedanssin ja nimellisvirran tuloa, joka ilmoitetaan tehona.
  - Mitoitustaakan standardiarvot ovat: 2,5 - 5- 10 - 15 ja 30 VA, mutta tarpeen mukaan valitaan suuremmat.
- Sisätaakka
  - Toisiokäämin hajaimpedanssi, joka ilmoitetaan myös yleensä tehona.
- Tarkkuusluokka
  - Kertoo sallitut virta- ja kulmavirheet
  - Mittaussyhdämen tarkkuusluokat: 0,1 - 0,2 - 0,5 - 1 - 3 tai 5
  - Suojaussyhdämen tarkkuusluokat: 5P tai 10P
- Mittarivarmuuserroin  $F_s$  (mittaussyhdän) tai tarkkuusrajakerroin  $F_a$  (suojaussyhdän)
  - Mittarivarmuuskertoimen arvoja ei ole standardisoitu, mutta tavallisimmat arvot ovat 5 ja 10
  - Tarkkuusrajakertoimen standardiarvot: 5 - 10 - 15 - 20 - 30 /3/

Yleensä ulosasennettavat virtamuuntajat ovat öljy- tai SF6 eristeisiä, ja ne ovat lisäksi täysin suljettuja. Posliini- tai komposiittikuorella saadaan toteutettua ulkoinen eristys. Rakenteensa perusteella virtamuuntajien ensiökäämi ja sydänosat voivat sijaita, joko maan potentiaalissa olevassa säiliössä, jolloin sitä kutsutaan niinsanotuksi. hair-pin- rakenteeksi, tai ne ovat johdon potentiaalissa olevan virtamuuntajan yläosassa, jolloin kyseessä on top-core- rakenne. Hair-pin- tyyppisen rakenteen omaava virtamuuntaja on esitelty kuvassa 19. /14/



1. kaasutyyny
2. öljyn täyttöyksikkö
3. kvartsin täyttö
4. paperi eristeinen primääri johdin
5. rautasydän ja toisiokäämit
6. toisioliittimien liitäntäkotelo
7. kapasitiivinen jännite kosketin
8. paisunta säiliö
9. öljylasi
10. ensiöliitin
11. Maaliitin

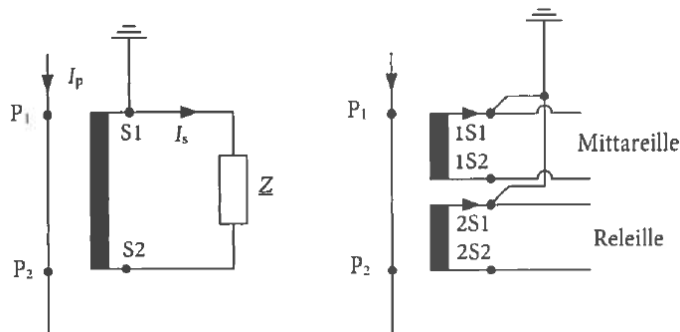
**Kuva 19 Hair-pin- rakenteinen virtamuuntaja /2/**

Sisäasennuksissa käytetään monesti valuhertsistä valmistettuja muuntajia ja niitä valmistetaan sekä pien- että suurjännitteille. Lämpivientivirtamuuntajarakenteisia virtamuuntajia on paljon käytössä ainakin suurjännitekiskostoissa, jolloin VM:n läpi menevä kisko toimii ensiökääminä. Yleensä pienjännite eli pj-verkossa käytettävä reikävirtamuuntaja on samankaltainen, sillä siinä ensiökäämi muodostuu sen läpi menevästä kiskosta tai johdosta. Tällaisen muuntajan muuntosuhdetta saadaan säädettyä laittamalla ensiöjohdin useamman kerran läpivientiaukosta. Kaapelivirtamuuntajissa ensiökäämi muodostuu vaihejohtimista. /14/

Kuvassa 20 on kuvattu virtamuuntajan maadoittamista. Virtamuuntaja on aina maadoitettava jommastakummasta toisiokäämin (S1 tai S2) navasta, jotta välttyään siltä,



etteivät potentiaalit nouse vaaralliselle tasolle. Kuvassa P viittaa ensiöön. Mikäli käämit syöttävät suojarelettä, niin yleensä maadoittaminen tapahtuu relettä lähimpänä olevasta navasta. Mittareita syötettäessä maadoitetaan käyttäjää lähinnä oleva napa. Samalla käämillä syötettäessä sekä mittausta että suojausta, maadoitus tehdään lähinnä relettä olevasta toisiokäämin navasta. Jos useampi VM on kytketty galvaanisesti yhteen, niin maadoitetaan ainoastaan yhdestä pisteestä. Jos virtamuuntajan toisiokäämi ei ole käytössä, niin se pitää oikosulkea, jotta vältytään vaarallisilta ylijännitteiltä, jotka voivat ajankuluessa vioittaa virtamuuntajan. /14/



**Kuva 20 Virtamuuntajan maadoitus /14/**

#### 4.4.2. Jännitemuuntajat

Jännitemuuntajan avulla saadaan ensiöpiirin jännite muutettua sopivaksi toisiokojeille. Jännitemuuntajalla saadaan lisäksi eristettyä ensiö- ja toisiopiiri toisistaan. Niitä voidaan virtamuuntajien tavoin käyttää sekä suojauksessa että mittauksessa. IEC 60044-2 standardissa on määritelty tarkemmin jännitemuuntajille asetetut vaatimukset. Kyseisen standardin mukaan tärkeimmät teknilliset arvot jännitemuuntajilla ovat: /3/

- Eristystaso
- Mitoitustaaajuus
- Mitoitusensiöjännite  $U_{pn}$ 
  - Jännitemuuntajan ollessa 3-vaiheverkossa vaiheiden välissä, niin ilmoitetaan pääjännitteenä esimerkiksi 20000 V. Jos jännitemuuntaja on vaiheen ja tähtipisteen välissä taikka verkon tähtipisteen ja maan välissä, ilmoitetaan  $U_{pn}$  vaihejännitteenä esimerkiksi  $20000 : \sqrt{3}$

- Mitoitusjännitekerroin
  - $U_{pn}$  ja mitoitusjännitekertoimen tulo kertoo suurimman ensiöjännitteen, jolla muuntajaa voidaan tietynajan käyttää.
  - Kertoimen suuruuteen vaikuttaa myös verkon maadoitus ja muuntajan ensiökäämin kytkentä verkkoon
- Mitoitusjännite  $U_{sn}$ 
  - Standardoidut arvot toisiojännitteelle taulukossa 4, jossa alleviivattuja arvoja suositellaan suomessa käytettäväksi. /3/

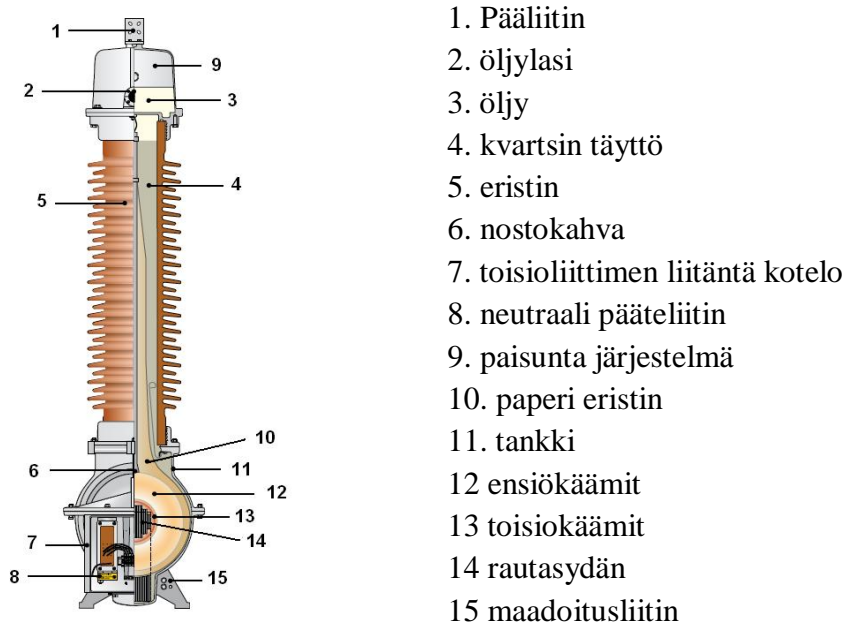
**Taulukko 4 Toisiojännitteen standardiarvot /3/**

	Ensiökäämi kytketty kahden vaiheen väliin tai verkon tähtipisteen ja maan väliin.	Ensiökäämi kytketty vaiheen ja maan väliin
Mittaus- ja suojauskäämeille	<u>100 V</u> , 110 V ja 200 V	<u>100 : <math>\sqrt{3}</math> V</u> , 110 : $\sqrt{3}$ ja 200 : $\sqrt{3}$ V
Avokolmiokäämille		<u>100 : 3 V</u> , 110 : 3 ja 200 : 3 V

- Mitoitustaakka  $S_n$ 
  - Kertoo mikä on jännitemuuntajan suurin kuormitettavuus kyseisessä tarkkuusluokassa.
  - Ilmoitetaan yleensä näennäistehona  $S$  [VA].
  - Standardi arvot, joista alleviivatut ovat suosituksia: 10 – 15 – 25 – 30 – 50 – 75 – 100 – 150 – 200 – 300 – 400 – 500 VA
- Tarkkuusluokka
  - Määräytyy sallittujen kulma- ja jännitevirheiden mukaan. /3/

Jännitemuuntajia (JM) valmistetaan kaikille jännitetasoille öljy- ja SF6-eristeisinä. Lisäksi niitä valmistetaan valuhartsieristeisinä, joita käytetään kj-verkon sisäasennuksissa. Jännitemuuntajat voivat olla induktiivisia, joita käytetään yleensä 245 kV tai sitä pienemmillä jännitteillä. Tällaisen JM:n rakenne on kuvattu kuvassa 21. 245 kV suuremmilla jännitteillä on edullisempaa käyttää kapasitiivista jännitemuuntajaa, joka koostuu kapasitiivisesta jännitteenjakajasta ja induktiivisesta JM:stä. Lisäksi on olemassa

kaskadikytchentäiset jännitemuuntajat, joiden sisällä on kaksi kappaletta induktiivisia jännitemuuntajia sarjassa. /14/



1. Pääliitin
2. öljylasi
3. öljy
4. kvartsin täyttö
5. eristin
6. nostokahva
7. toisioliittimen liitântä kotelo
8. neutraali pääteliitin
9. paisunta järjestelmä
10. paperi eristin
11. tankki
12. ensiökäämit
13. toisiokäämit
14. rautasydän
15. maadoitusliitin

**Kuva 21 Induktiivinen jännitemuuntaja /2/**

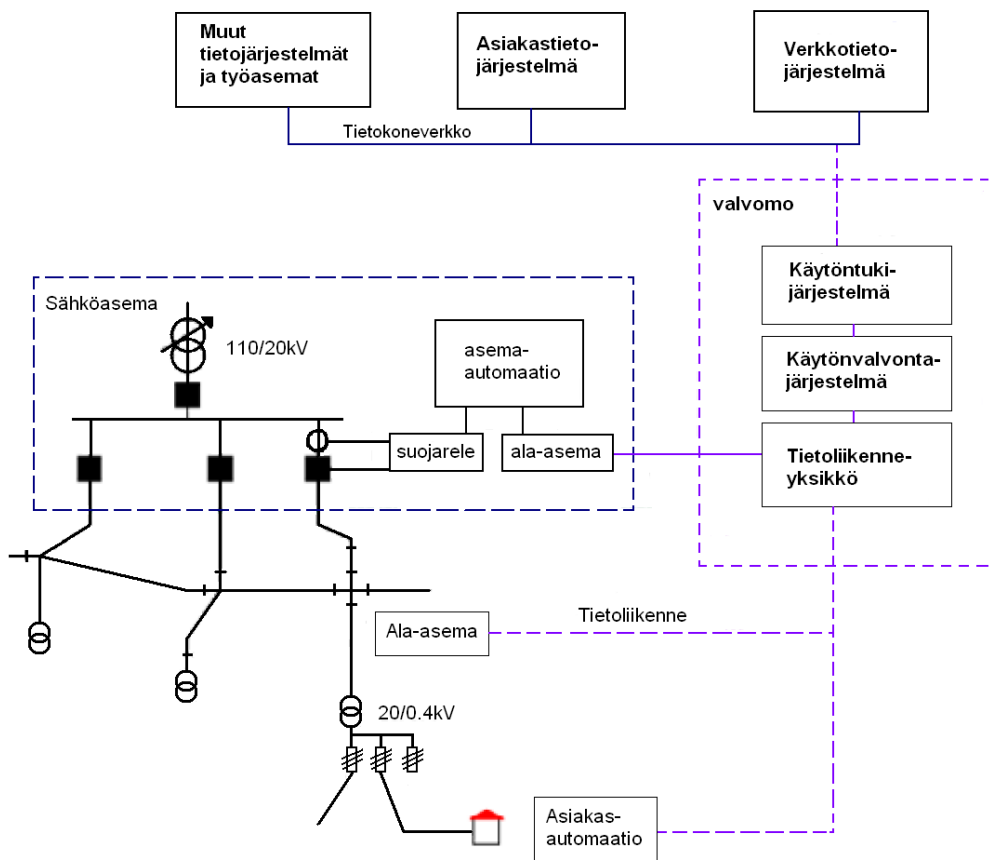
## 4.5. Sähkönjakeluautomaatio

Nykyisin on käytössä kehittyneet kaukokäyttöjärjestelmät, joiden avulla saadaan verkon ja sen käytön laatua parannettua. Kaukokäyttöjärjestelmien avulla toimintavarmuus paranee ja häiriöiden ajat saadaan lyhyemmiksi, sillä esimerkiksi valvomosta käsin voidaan suorittaa muun muassa katkaisijoiden sekä erottimien kinni ja auki ohjauksia. Kaukokäyttöjärjestelmät mahdollistavat myös jakeluverkon jännite ja virta-arvojen seurannan reaaliajassa, ja näiden avulla saadaan vikapaikan sijainti paikannettua nopeammin ja tarkemmin. Sähkönjakelussa jakeluautomaatioon (DA, distribution automation) kuuluu verkostojen hallinta, käyttö ja valvonta. /14/, /4/

Jakeluverkon automaatioon kuuluu monenlaisia eri järjestelmiä. Jakeluverkon hallintajärjestelmä (DMS), jossa on verkon tietoja kytkentätilanteiden ylläpitoa varten, verkkotopologian hallintaan, vianhallintaan, raportointiin ja tilastointiin.

Verkkotietojärjestelmä (NIS) sisältää tietoja muun muassa sähköasemilta, kj-verkosta, muuntamoilta, pj-verkosta sekä asiakkaiden tietoja verkon laskentaa varten. Ohjauksien lähettämisestä verkkoon ja sähköasemille huolehtii käytönvalvontajärjestelmä (NCS), joka kerää myös verkon reaaliaikaiset tiedot. Sähkölaitoksen asiakkaiden tiedot löytyvät asiakastietojärjestelmästä (CIS), jonka tietojen avulla pystytään hoitamaan taloudenpito ja laskutus. Lyhenne FA (Feeder automation) tarkoittaa johtolähtöautomaatiota, jonka avulla pystytään rajoittamaan verkostovian vaikutusaikaa ja -aluetta. SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) on sähköasemien kaukokäytössä käytettävä järjestelmä, jonka avulla pystytään kauko-ohjaamaan katkaisijoita, erottimia ja muuntajan käämikytkimiä. Scadan avulla voidaan myös suorittaa erilaisia mittauksia. /4/

Sähköverkkoon kuuluvasta automaatiosta on esitetty kaavio kuvassa 22.



**Kuva 22 Sähköverkkoon liittyvä automaatio /4/**

### 4.5.1. Kaukokäyttö ja tiedonsiirto

Kaukokäyttöjärjestelmän rakenteeseen vaikuttaviin tekijöihin kuuluu, mitä menetelmää käytetään tiedonsiirtoon, kaukokäytön ja valvomon välinen sijainti, siirrettävän informaation määrä sekä käytettävyys ja turvallisuus. Kaukokäyttöjärjestelmässä käytettävä verkko voi olla piste-pisteverkko, tähtiverkko, linjaverkko, rengasverkko, silmukkaverkko tai sekaverkko. /14/

Tiedonsiirrosta huolehtivan viestiyhteyden valintaan vaikuttaa puolestaan kustannukset sekä käytettävyys (eli luotettavuus ja vikojen kesto aika). Tiedonsiirtoon voidaan käyttää muun muassa seuraavanlaisia tekniikoita: /14/, /4/

- paikallisverkkoa (niin sanottu LAN- yhteys)
- radiolinkki, kyetään useamman puhe- tai datayhteyden muodostamiseen
- langallista kiinteää yhteyttä,
- valintaista puhelinverkkoa,
- yleisen dataverkon siirtopalveluita,
- puheradiota, jota käytetään usein erotinaseman kauko-ohjauksessa
- pakettiradioverkkoa,
- kantoaaltoyhteyttä eli niin sanottu DLC-tekniikka, jota käytetään esimerkiksi katuvalojenohjauksessa
- hybridijärjestelmää
- valokuitua, joka on vakioratkaisu sisäisessä tiedonsiirrossa ja kantaverkon siirtoyhteyksillä sekä televerkkojen runkoyhteyksillä /4/

Siirrettävä informaatio voidaan jakaa neljään eri kategoriaan, joita ovat ohjaukset, mittaukset, hälytykset ja ilmoitukset. Ohjauksilla tarkoitetaan esimerkiksi katkaisijan ohjausta tai releasetteluiden muuttamista. Ohjauksia ovat esimerkiksi kytkökset ja asennonosoitukset. Mittaustiedot voidaan poimia joko analogisena (esimerkiksi virta ja jännite tiedot) tai diskreettisenä (esimerkiksi erilaiset toimintakertalaskurit). Hälytysten avulla saadaan viat paikannettua nopeasti ja sähkön toimitusvarmuus lisääntyy. Ilmoituksiin kuuluu asennonosoitukset ja muut tilan muutokset. /14/

Sähköasemilla sijaitsee yleensä modulaarisia, väylärakenteisia tai mikroprosessoripohjaisia ala-asemia, jotka keräävät mittaus-, asento-, ja hälytystietoja laitteisiin kytkettyjen tulo- ja lähtöliityntäyksiköiden avulla. Ala-asemien tehtäviin kuuluu myös ohjauksikäskyjen välittäminen. Ala-aseman kaukokäyttökoje laittaa informaation oikeaan järjestykseen ja välittää sen siirtolaitteistolle, joka puolestaan toimittaa tiedon keskusasemalle, missä tieto tarkistetaan ja kytketään oikeisiin lähtöliityntäyksiköihin. Keskusasema ohjaa syöttö- ja tulokorttien (I/O-moduulit) toimintaa ja liikennettä keskusyksikön kanssa. Tämä ratkaisu kuvasi perinteisesti käytettyä ala-asema ratkaisua, missä on yksi keskusyksikkö. /14/

#### **4.6. Maadoitukset**

Maadoituksen tarkoituksena on luoda maahan johtava yhteys, yhdistämällä jokin virtapiirin osa tai jokin sähkölaitteen johtava osa maahan maadoituselektrodin avulla. /14/

Suomen standardisoimisliiton SFS-käsikirjassa 601 olevan standardin mukaan maadoitusjärjestelmän rakenteelle on asetettu neljä vaatimusta, jotka sen tulee täyttää:

- riittävä mekaaninen lujuus ja korroosion kestävyys
- suurimman virran terminen kestävyys
- omaisuuden ja laitteiden vaurioitumisen estäminen
- henkilöturvallisuuden varmistaminen suurimman maasulkuvirran aikana maadoitusjärjestelmissä esiintyvien jännitteiden suhteen. /35/

Maadoituksia on kahdenlaisia, jotka ovat käyttö- ja suojamaadoitukset. Käyttömaadoituksella on kaksi eri tehtävää, joista ensimmäisenä on virtajohtimen jännitteen pitäminen maan suhteen sellaisena, että siitä ei aiheudu vaaratilanteita tai vaurioita. Toisena tarkoituksena on pitää mahdollisimman vähäisinä heikkovirtalaitoksille aiheutuvat häiriöt pitämällä jännite-epäsymmetria ja maavirta tarpeeksi pienenä. Käyttömaadoitus saadaan tehtyä yhdistämällä virtapiiriin kuuluva osa suoraan maahan tai pienen impedanssin välityksellä. Kun virtapiirin ulkopuolinen jännitteelle altis osa yhdistetään maadoitukseen, on kysymys suojamaadoittamisesta. Sen tehtävä on estää, ettei jännitealttiiseen osaan synny kosketusjännitettä. Työmaadoittaminen tarkoittaa, työn ajaksi

jännitteettömäksi tehtyjen virtapiirin osien maadoittamista, jotta osat eivät pääse muuttumaan jännitteelliseksi työn aikana. /14, /11/

Maadoitusjärjestelmä rakentuu tyypillisesti useista vaaka-, pysty- tai vinoelektrodeista, jotka asennetaan maahan. Johtavan yhteyden muodostaminen maahan voidaan toteuttaa maadoituselektrodilla, joko suoraan taikka jonkin johtavan väliaineen, kuten esimerkiksi betonin kautta. Sähköasemilla on yleensä niin sanottu maadoitusruudukko, mihin yhdistetään muun muassa laitteiden maadoitukset sekä asemalta lähtevien johtojen ukkosjohtimet. /14/

Maadoituselektrodin materiaalin valintaan ja mitoitukseen vaikuttavat korroosion kestävyys sekä mekaaninen lujuus. Maadoituselektrodin maadoitusresistanssin arvoon vaikuttaa sen muoto, laajuus ja maaperän resistiivisyys  $\rho_E$ , jonka arvoja näkyy taulukossa 5. Maadoituselektrodin maadoitusresistanssin laskentaan käytettävät kaavat näkyvät taulukossa 6, joka on peräisin SFS 6001-käsikirjasta. /12/, /35/.

#### Taulukko 5 maaperän, veden ja betonin resistiivisyys arvoja /35/

Aine	Keskimäärin $\Omega m$	Tavallisimmat vaihteluvälit $\Omega m$
Savi	40	25...70
Saven sekainen hiekka	100	40...300
Lieju, turve, multa	150	50...250
Hiekka, hieta	2000	1000...3000
Moreenisora	3000	1000...10000
Harjusora	15000	3000...30000
Graniittikallio	20000	10000...50000
Betoni tuoreena tai maassa	100	50...500
Betoni kuivana	10000	2000...100000
Järvi- ja jokivesi	250	100...400
Pohja- kaivo- ja lähdevesi	50	10...150
Merivesi (Suomenlahti)	2,5	1...5

**Taulukko 6 Elektrodiin maadoitusresistanssin laskentakaavoja /35/**

Elektrodiin laatu	Kaava	Huomautukset
Pallo pinnassa	$R_E = \frac{\rho_E}{\pi D}$	
Levy pinnassa	$R_E = \frac{\rho_E}{2D}$	$s \ll D$
Pystysuora tanko tai putki pinnassa	$R_E = \frac{\rho_E}{2\pi L} \ln \frac{4L}{1,36 \times d}$	$d \ll L$
Pystysuora tanko tai putki upotettuna	$R_E = \frac{\rho_E}{2\pi L} \ln \frac{4L}{1,36 \times d} \times \frac{2h+L}{4h+L}$	$d \ll L$
Vaakasuora johdin pinnassa	$R_E = \frac{\rho_E}{\pi L} \ln \frac{2L}{1,36 \times d}$	$d \ll L$
Vaakasuora johdin upotettuna	$R_E = \frac{\rho_E}{2\pi L} \ln \frac{L^2}{1,85 \times h \times d}$	$d \ll 4h$
Verkko	$R_E = \frac{\rho_E}{2D} + \frac{\rho_E}{L}$	

Taulukon 6 suureet ovat seuraavat:

$R_E$ = maadoitusresistanssi

$L$ = elektrodin pituus (m)

$D$ = pallon, levyn tai verkon halkaisija

$d$ = köysimaadoituselektrodin halkaisija tai puolet nauhaelektrodin leveydestä (m)

$s$ = levyelektrodin paksuus

$\rho$ = maaperän ominaisresistanssi /35/

Yksittäisen elektrodin maadoitusresistanssi saadaan laskettua myös kaavalla 21 elektrodin kautta kulkevan virran  $I_e$  ja maadoitusjännitteen turvallisuus- tai muista syistä asetetun raja-arvon  $U_e$  avulla. /14/

$$R_e = \frac{U_e}{I_e} \quad (21)$$

Maadoitusjohtimella tarkoitetaan sfs-standardin mukaan johdinta, jolla saadaan luotua johtava yhteys asennuksen, järjestelmän tai laitteen määrätyn osan ja maan välille. Standardin mukaan maadoitusjohtimien poikkipinnat tulee olla vähintään taulukon 7 mukaiset. /34/



**Taulukko 7 Maahan asennettujen maadoitusjohtimien minimipoikkipinta /34/**

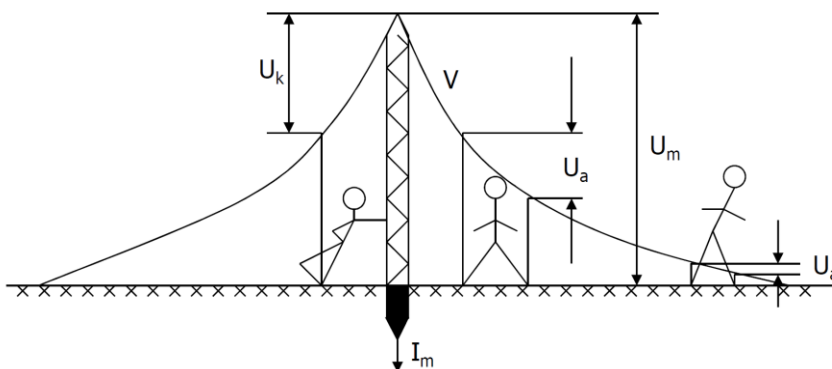
Maadoitusjohdin	Minimipoikkipinta mm <sup>2</sup> suojattuna mekaaniselta vahingoittumiselta		Minimipoikkipinta mm <sup>2</sup> suojaamatta mekaaniselta vahingoittumiselta	
	Kupari	Teräs	Kupari	Teräs
Suojattu korroosiolta	2,5	10	16	16
Suojaamatta korroosiolta	16	50	16	50

#### 4.7. Kosketusjännite

Kauppa- ja teollisuusministeriön päätöksessä sähköturvallisuusmääräyksistä 10 § 2 on annettu seuraavanlainen määräysteksti koskien yli 1000V:n järjestelmän kosketusjännitesuojausta: ”Yksivaiheisen maasulun suojamaadoitettuun osaan aiheuttama maadoitusjännite ei saa aiheuttaa kytkinlaitoksessa eikä, paikassa, missä ihmisiä usein oleskelee tai liikkuu, vaarallista kosketusjännitettä. Maadoitusjännite ei myöskään saa vaarantaa samaan maadoituselektrodiin maadoitetun tai lähellä sijaitsevan toisen laitteen eristystä.” /35/

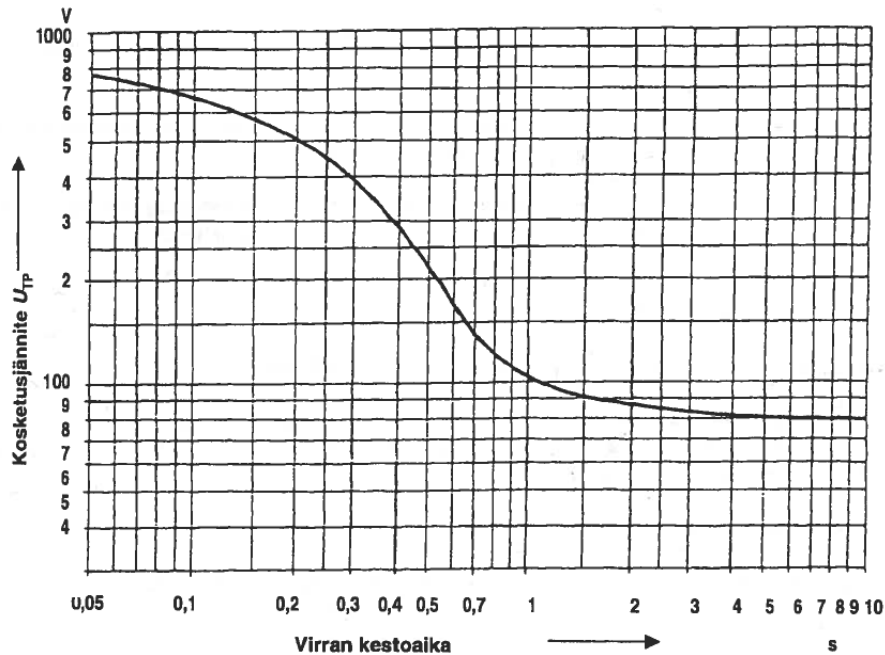
Kuvassa 23 on havainnollistettu kosketus- ja askeljännitteen syntyminen. Kosketusjännite  $U_k$  tarkoittaa kehoon vaikuttavaa jännitettä kun kaksi kehon osaa koskettavat jännitteiseen osaan. Askeljännite  $U_a$  tarkoittaa puolestaan kehoon vaikuttavaa jännitettä, joka muodostuu jalkojen väliin. Suurimmillaan kyseiset jännitteet ovat maadoituselektrodin läheisyydessä.

/15/



**Kuva 23 Kosketusjännitteen syntyminen ( $U_k$ = kosketusjännite,  $U_a$ =askeljännite,  $U_m$ =maadoitusjännite,  $V$ =maan pinnan potentiaali) /27/**

Kuvassa 24 on esitetty kosketusjännitteen sallittuarvo  $U_{Tp}$ , maasulun sattuessa s-järjestelmässä.  $U_{Tp}$ :n arvoon vaikuttaa virran kesto aika. Kyseisessä kuvassa ei ole otettu huomioon lisäresistanssien arvoja, joita ovat esimerkiksi kengät tai hanskat. /35/



**Kuva 24 sallittu kosketusjännite  $U_{Tp}$  virran kestoajan funktiona /35/**

Sallitut arvot toteutuvat standardin mukaan, kun asennus on osa laajaa maadoitusjärjestelmää, tai mittauksilla/laskemalla saatu maadoitusjännite ei ole suurempi kuin kaksinkertainen sallittu kosketusjännite eli  $U_e \leq 2 \times U_{Tp}$ . Sallitut arvot toteutuvat myös, kun toteutetaan taulukossa 8 olevat erityistoimenpiteet M, joihin vaikuttaa maadoitusjännitteen arvo, virran kesto aika  $t_F$  ja paikka missä kosketusjännite saadaan. Määreiden M1-M4 selitykset löytyvät tarkemmin SFS 6001 standardin liitteestä D. /14/, /35/

**Taulukko 8 Erityistoimenpiteiden M käytön olosuhteet  $U_{Tp}$ :n varmistamiseksi /35/**

Vian kestoaika $t_F$	Maadoitusjännite $U_E$	Asennusten ympärillä sijaitsevilla ulkoseinillä ja aidoilla	Asennusten sisäpuolella	
			Sisäasennus	Ulkoasennus
$t_F > 5 \text{ s}$	$U_E \leq 4 \times U_{Tp}$	M1 tai M2	M3	M4.1 tai M4.2
	$U_E > 4 \times U_{Tp}$	Osoitetaan, että $U_T \leq U_{Tp}$	M3	M4.2
$t_F \leq 5 \text{ s}$	$U_E \leq 4 \times U_{Tp}$	M1 tai M2	M3	M4.2
	$U_E > 4 \times U_{Tp}$	Osoitetaan, että $U_T \leq U_{Tp}$		

SFS 6001 standardissa on myös taulukko, johon on merkattu sallitun kosketusjännitteen  $U_{Tp}$  lasketut arvot virran kestoajan mukaan (taulukko 9). Kyseisissä arvoissa on otettu huomioon ihmiskehon aiheuttama lisäresistanssi. /35/

**Taulukko 9 Sallittu  $U_{Tp}$ , kun huomioon on otettu lisäresistanssi /35/**

Vian kestoaika $t_F$ (s)	Sallittu kosketusjännite $U_{Tp}$ (V)
10	80
1,1	100
0,72	125
0,64	150
0,49	220
0,39	300
0,29	400
0,20	500
0,14	600
0,08	700
0,04	800

Ktmp:n sähköturvallisuusmääräysten 10 §:ssä on annettu myös tietyt raja-arvot maadoitusjännitteelle alle 110 kV:n järjestelmässä, jotka on esitetty taulukossa 14. Niin kauan kuin nämä arvot eivät ylity, katsotaan, ettei kosketusjännite aiheuta vaaraa. Vähintään 110 kV:n järjestelmissä puolestaan maadoitusjännitteet sallitaan olevan kytkinlaitoksilla kaksinkertaiset ja johtojen osalta kolminkertaiset verrattuna taulukossa 10 oleviin arvoihin. /35/

**Taulukko 10 Maadoitusjännitteen enimmäisarvot /35/**

Ryhmä	Maadoitusjännite V	
	Maasulku kytketään itsetoimivasti pois ajassa $t$ (s)	maasulku ei kytketä itsetoimivasti pois
a	$750/\sqrt{t}$	125
b	$2000/\sqrt{t}$	250
c	$3000/\sqrt{t}$	400
d	$500/\sqrt{t}$	100
e <sub>1</sub>	$750/\sqrt{t}$	125
e <sub>2</sub>	$100/\sqrt{t}$	150

Taulukossa 14 esiintyvien ryhmien selitykset:

- a= Laitteiston suojamaadoitettu osa, joka sijaitsee siten, että sitä ja toista maahan yhteydessä olevaa osaa voi samanaikaisesti koskettaa maasta tai muusta johtavalta tai eristäväältä alustalta. /35/
- b= Laitteiston suojamaadoitettu osa, joka sijaitsee siten, että sitä ja toista maahan yhteydessä olevaa osaa ei voi samanaikaisesti koskettaa maasta tai muusta johtavalta alustalta. Kosketus on mahdollista vain esimerkiksi nousemalla pylväaseen. Tässä kahden osan samanaikainen kosketus mahdollisuus on vähäinen. /35/
- c= Maanpinnan alapuolella sijaitseva maadoituselektrodi. /35/
- d= Laitteiston suojamaadoitettu osa ja enintään 1000 V:n järjestelmän käyttömaadoitukseen yhdistetty osa, silloin kun maadoittamiseen käytetään yhteistä

elektrodia. Kyseinen 1000 V:n järjestelmä on ensiksi mainitun laitteiston tai sen maadoitusalueen ulkopuolella. /35/

- e= Enintään 1000 V:n järjestelmän nollattu tai muuten suojamaadoitettu osa, joka on alttiina yli 1000 V:n järjestelmän jännitteelle. Tarkemmat selitykset alaryhmistä  $e_1$  ja  $e_2$  löytyvät SFS 6001- standardista taulukosta 10.2-1. /35/

## 5. KARIHAARAN KYTKINASEMAN VIKAVIRRAT

Fingrid Oyj antoi seuraavanlaiset tiedot kantaverkosta Karihaaran kytkinasemalle tulevista vikavirroista(/20/):

- Poikkeuksellinen minimitalanne vuonna 2012, jos syöttö vain Raasakasta päin:
  - $I_k' = 1,5 \text{ kA}$ ,  $Z_k' = (12 + j44) \text{ ohm}$
- Normaali minimitalanne vuonna 2012:
  - $I_k' = 7,2 \text{ kA}$ ,  $Z_k' = (2,3 + j9,1) \text{ ohm}$
- Normaali perustilanne vuonna 2012:
  - $I_k' = 13,2 \text{ kA}$ ,  $Z_k' = (1,1 + j5,0) \text{ ohm}$
- Normaali maksimitilanne vuonna 2012:
  - $I_k'' = 15,7 \text{ kA}$ ,  $Z_k'' = (0,8 + j4,3) \text{ ohm}$
- Eräs ennuste vuonna 2017:
  - $I_k'' = 17,5 \text{ kA}$ ,  $Z_k'' = (0,6 + j3,9) \text{ ohm}$
- Eräs ennuste vuonna 2022:
  - $I_k'' = 22 \text{ kA}$ ,  $Z_k'' = (0,5 + j3,1) \text{ ohm}$

Normaalin vuoden 2012 alkuoikosulkuvirran arvolla ja soveltamalla kaavaa 5 saain laskettua oikosulkutehon  $S_k''$ .

$$S_k'' = \sqrt{3} U_N I_k'' \quad (5)$$

$$S_k'' = \sqrt{3} * 110 \text{ kV} * 15,7 \text{ kA} = 2991 \text{ MVA}$$

Kantaverkon impedanssi on laskettu kaavan 1 avulla. Saatu impedanssi on redusoitu 21 kV:n tasoon kaavalla 8. Kaavassa oleva  $U_n$  on verkon käyvä jännite eli noin 117 kV.

$$Z_{k21} = \frac{1,1 * 117 \text{ kV}}{\sqrt{3} * 15,7 \text{ kA}} * \left( \frac{21 \text{ kV}}{110 \text{ kV}} \right)^2 = 0,172 \Omega \quad (1),(8)$$

Seuraavaksi on määritetty Karihaaran kytkinaseman päämuuntajan impedanssi  $Z_M$  kaavalla 7, joka on esitetty edempänä kappaleessa 2.3 impedanssin määrittäminen. Karihaarassa on 110 / 21 kV:n muuntaja, jonka nimellisoikosulkuteho  $S_N = 25 \text{ MVA}$ . Muuntajan ja

kantaverkon yhteenlasketun kokonaisimpedanssin avulla on saatu laskettua alkuoikosulkuvirta 21 kV:n kiskostossa kaavalla 1. Laskut on laskettu käämikytkimen asennon 19 arvoilla, jolloin muuntajan oikosulkuimpedanssi  $z_k\% = 9,8$ .

$$Z_M = \frac{9,8}{100} * \frac{(21kV)^2}{25MVA} = 1,729\Omega \quad (7)$$

$$I_k'' = \frac{1,1 * 21kV}{\sqrt{3} * (0,172\Omega + 1,729)} = 7,02kA \quad (1)$$

Sysäysoikosulkuvirta on laskettu kaavalla 9, mutta ensin on täytynyt määrittää oikosulkukerroin  $\kappa$  kaavalla 10.

Ensin on laskettu yhteen kantaverkon ja muuntajan oikosulkuimpedanssien ja -resistanssien arvot:

$$(0,8+j4,3) + (0,1+j1,73) = (0,9+j6,03)$$

$$\kappa = 1,02 + 0,98e^{-3(0,9/6,03)} = 1,65 \quad (10)$$

Huomioidaan Thevenin laskentatarkkuus, joka on  $\pm 5\%$ , joten sysäysoikosulkuvirran arvoksi saadaan:

$$i_s = 1,65 * \sqrt{2} * 7,02kA * 1,05 \approx 17,2 kA \quad (9)$$

IEC -standardista eli taulukosta 3 voidaan katsoa, että laitteiden terminen oikosulkukestävyys  $I_{th}$  tulee olla 8 kA sysäysoikosulkuvirran ollessa 20 kA.

Fingrid oli antanut vikavirta-arvoista ennusteet vuosille 2017 ja 2022, joten taulukkoon 11 on merkattu näiltä vuosilta sysäysoikosulkuvirrat ja taulukon 3 mukaan termiset oikosulkuvirran arvot.

**Taulukko 11 Karihaaran kytkinaseman 20kV:n vikavirrat**

vuosi	$I_k''$ [kA]	$S_k$ [MVA]	$Z_{k20}$ [ $\Omega$ ]	$Z_M$ [ $\Omega$ ]	$I_k''$ [kA]	$\kappa$	$i_s$ [kA]	$I_{th}$ [kA]
2012	15,7	2991	0,17	1,73	7,02	1,65	17,2	8
2017	17,5	3334	0,16	1,73	7,08	1,7	17,9	8
2022	22	4192	0,12	1,73	7,20	1,7	18,2	8

110 kV:n sysäysoikosulkuvirrat ja termisen oikosulkuvirran kestävyys saadaan määritettyä samalla tavoin kuin 21 kV:n vikavirratkin. Ensimmäiseksi on määritelty  $I_k''$ :n arvo. Sysäyskerrointa  $\kappa$  määritettäessä on jätetty huomioimatta muuntajan impedanssi ja resistanssi arvot. Lopuksi on laskettu sysäysoikosulkuvirta kaavalla 9 ja katsottu taulukosta 3 vastaava  $I_{th}$ :n arvo. 110 kV:n vikavirran arvot on merkitty taulukkoon 12.

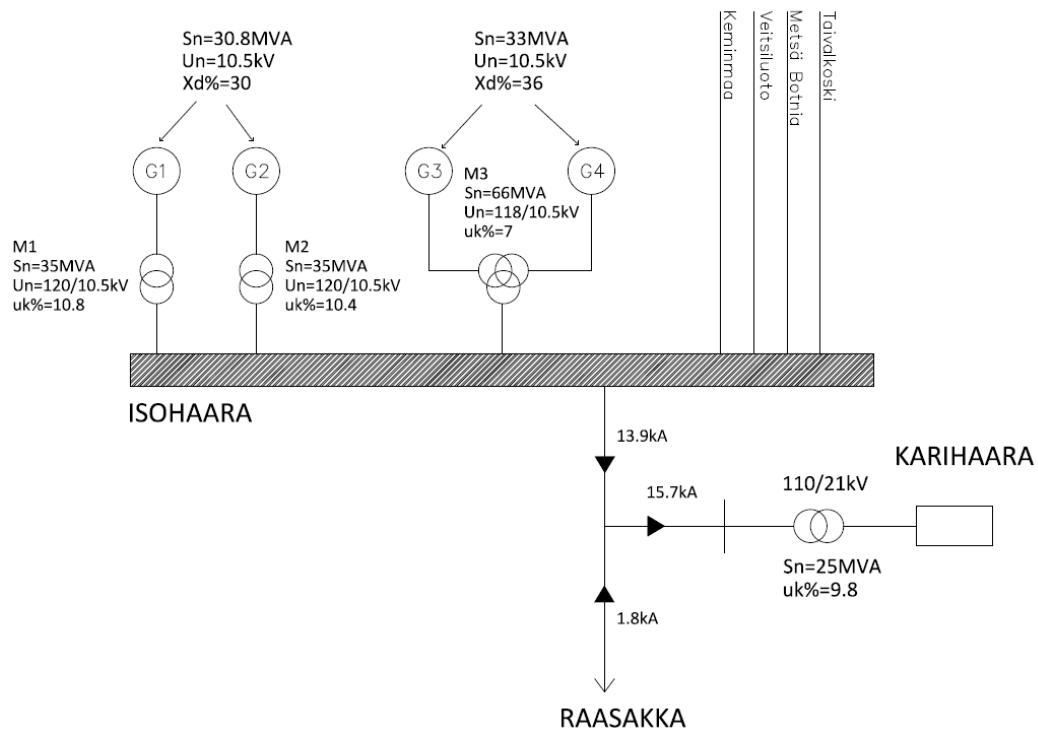
**Taulukko 12 110kV:n vikavirrat**

vuosi	$I_k''$ [kA]	$\kappa$	$i_s$ [kA]	$I_{th}$ [kA]
2012	15,7	1,58	36,8	16
2017	17,5	1,64	42,6	20
2022	22	1,62	52,9	25



## 5.1. Isohaaran voimalaitoksen koneiden aiheuttama vikavirta

Kuvassa 25 näkyy tiedot Isohaarella olevista generaattoreista ja muuntajista. Kuvaan on merkitty myös normaalin maksimitilanteen  $I_k$  arvot. Näiden tietojen perusteella pystytään määrittelemään, mikä on Isohaaran voimakoneiden vaikutus Karihaaran kytkinaseman oikosulkuvirtoihin.



**Kuva 25 Vikavirrat Isohaara-Karihaara-Raasakka**

Ensin määritetään generaattoreiden ja muuntajien impedanssit kaavalla 7. Generaattoreiden G1 ja G2 reaktanssit on redusoitu 120 kV:n tasoon sekä G3 ja G4 puolestaan 118 kV:n tasoon kaavan 8 avulla. Esimerkkinä on laskettu generaattorin G1 redusoitu impedanssin arvo ja muuntajan M1 impedanssi. Kaikki arvot on merkattu taulukkoon 13. Laskentoihin käytetyt arvot selviävät kuvasta 25.

$$Z_{G1} = 0,3 * \frac{(10,5\text{kV})^2}{30,8\text{MVA}} * \left( \frac{120\text{kV}}{10,5\text{kV}} \right)^2 = 140,3\Omega \quad (7),(8)$$

$$Z_{M1} = 0,108 * \frac{(120kV)^2}{35MVA} = 44,4\Omega \quad (7)$$

**Taulukko 13 ISH:n muuntajien ja generaattoreiden impedanssit**

Laite	Z [ $\Omega$ ]
G1	140,3
G2	140,3
G3	152,0
G4	152,0
M1	44,4
M2	42,8
M3	14,8

Seuraavaksi on laskettu isohaaran muuntajien ja generaattoreiden yhteenlasketut impedanssit taulukkoon 14.

**Taulukko 14 Muuntajien ja generaattoreiden yhteenlasketut impedanssit**

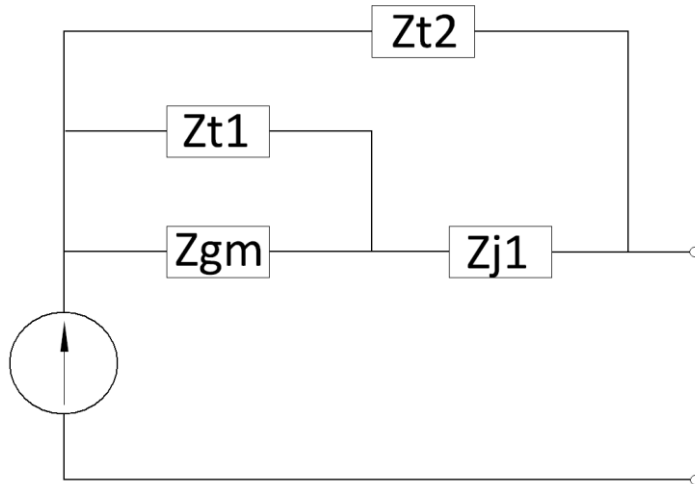
Yhteenlasketut laitteet	Yhteenlaskettu $Z_{G+M}$ [ $\Omega$ ]
G1+M1	184,7
G2+M2	183,1
G3+M3	166,8
G4+M3	166,8

Tämän jälkeen laskin Isohaaran generaattoreiden ja muuntajien muodostaman kokonaisimpedanssin  $Z_{GM}$  kaavalla 22.

$$Z_{GM} = \frac{1}{\frac{1}{Z_{G1+M1}} + \dots + \frac{1}{Z_{G4} + Z_{M3}}} \quad (22)$$

$$Z_{GM} = \frac{1}{\frac{1}{184,7\Omega} + \frac{1}{183,1\Omega} + 2 * \frac{1}{166,8\Omega}} = 43,7\Omega \quad (22)$$

Kuvasta 25 voidaan muodostaa kuvassa 26 esitetty Thevenin sijaiskytkentä. Tämän avulla saadaan määriteltyä kokonaisimpedanssi  $Z_{\text{kok}}$ , mikä vaikuttaa Karihaaran vikavirtoihin.



**Kuva 26 Thevenin sijaiskytkentä Karihaaraan**

Kuvan 11 Thevenin sijaiskytkennän määreet ovat seuraavat:

- $Z_{t2}$  = Taustaverkon impedanssi Raasakasta Karihaaraan
- $Z_{t1}$  = Taustaverkon impedanssi Isohaaraan
- $Z_{gm}$  = Isohaaran voimakoneiden impedanssi
- $Z_{j1}$  = Johto-osa Isohaarasta Karihaaraan.

Kokonaisimpedanssi voidaan laskea kaavalla 23.

$$Z_{\text{KOK}} = \frac{1}{\frac{1}{\frac{1}{\frac{1}{Z_{gm}} + \frac{1}{Z_{t1}}} + Z_{j1}} + \frac{1}{Z_{t2}}} \quad (23)$$

Fingridin antamien tietojen mukaan on voitu arvioida taustaverkon impedanssit silloin, kun Isohaaran voimalaitoksen voimakoneet eivät ole käytössä:

$$Z_{t1+j1} = 5.6\Omega$$

$$Z_{t2} = 41.3\Omega$$

Näillä arvoilla ja soveltamalla kaavaa 23 voidaan määrittää taustaverkon kokonaisimpedanssin:

$$Z_{\text{KOK}} = \frac{1}{\frac{1}{5.6\Omega} + \frac{1}{41.3\Omega}} = 4.95\Omega \quad (23)$$

Näiden avulla saadaan laskettua normaalin maksimitilanteen  $I_k''$  arvo kaavalla 1, kun Isohaaran voimakoneet eivät ole käytössä.

$$I_k'' = \frac{1.1 * 117kV}{\sqrt{3} * 4.95\Omega} \approx 15kA \quad (1)$$

Normaalissa maksimitilanteessa taustaverkon aiheuttama  $I_k''$  arvo Karihaarassa on 15,7 kA, eli Isohaaran voimakoneiden aiheuttama  $I_k''$  arvo on 15,7 kA - 15 kA = 0,7 kA. Tästä voidaan määrittää, mikä on ISH:n voimakoneiden aiheuttama prosentuaalinen osuus Karihaaran sysäysoikosulkuvirrasta:

$$\frac{0,7kA}{15,7kA} * 100\% \approx 4,5\%$$

Eli ISH:n voimakoneiden aiheuttama sysäysoikosulkuvirta on 4,5 % Karihaaran sysäysoikosulkuvirrasta.

## 5.2. Karihaara maasulkuarvot

Karihaaran kytkinasemalla on käytössä maasulkuvirran kompensointi laitteisto, joten maasulkuarvot ovat suurimmillaan silloin kun maasulun sammutus ei ole käytössä.

Tämän vuoksi on verkkotietojärjestelmä Xpowerista poimittu maasulkulaskennan antamat arvot sammuttamattoman verkon tilanteessa. Taulukossa 15 on maasulun suojausalueet laskentaohjelman mukaan. Maksimi maasulkuvirta Karihaarassa on laskentaohjelman mukaan 155.8 A.

**Taulukko 15 Maasulun suojausalueet katkaisijoille**

Katkaisijan tunnus	Lähdön tunnus	Sähkösäeman tunnus	Vika muualla		Oma vika		Asetteluarvot				Uo/ Ir/ UoIr/			Sallittu resistanssi				
			1 (A)	2 (A)	1 (A)	2 (A)	Uas (kV)	Io> (A)	Qas (kvar)	to (s)	Uas (%)	Io> (%)	Qas (%)	A (ohm)	B (ohm)	D (ohm)	2UTP (ohm)	4UTP (ohm)
KATK. 10	10 KOIVUHARJ	KAH	15.7	2.4	140.1	21.5	0.8	12.0	0.4	233	180	7	19	5	3	7		
KATK. 14	14 KIVIKKO	KAH	10.6	1.6	145.2	22.3	0.8	12.0	0.4	233	186	7	19	5	3	7		
KATK. 15	15 MARTTALA	KAH	21.2	3.3	134.6	20.7	0.8	12.0	0.4	233	172	7	19	5	3	7		
KATK. 16	16 KIVIKANGA	KAH	18.5	2.8	137.3	21.1	0.8	12.0	0.5	233	176	7	19	5	3	6		
KATK. 17	17 ISOHAARA	KAH	8.9	1.4	146.9	22.6	0.8	12.0	0.4	233	188	7	19	5	3	7		
KATK. 18	18 RISTIKANG	KAH	3.3	0.5	152.4	23.4	0.8	12.0	0.5	233	195	7	19	5	3	6		
KATK. 4	4 SAMMUTUS K	KAH	0.0	0.0	155.8	24.0	0.0	0.0	0	0	0	1	2	1	1	2		
KATK. 5	5 PEURAS. 50	KAH	21.4	3.3	134.4	20.7	0.8	12.0	0.4	233	172	7	19	5	3	7		
KATK. 6	6 KAUPPATORI	KAH	15.8	2.4	140.0	21.5	0.8	12.0	0.4	233	179	7	19	5	3	7		
KATK. 7	7 ISOHAARA I	KAH	8.4	1.3	147.4	22.7	0.8	12.0	0.4	233	189	7	19	5	3	7		
KATK. 8	8 PIRTTI	KAH	16.0	2.5	139.8	21.5	0.8	12.0	0.4	233	179	7	19	5	3	7		
KATK. 9	9 ISOHAARA I	KAH	16.0	2.5	139.8	21.5	0.8	12.0	0.4	233	179	7	19	5	3	7		

Sallittujen resistanssien arvot A B ja D ovat peräisin vanhojen määräysten laskentamallista.  $2U_{Tp}$  sekä  $4U_{Tp}$  ovat puolestaan peräisin SFS 6001 standardista, joiden laskennasta on kerrottu edellisessä kappaleessa 5.7. Kosketusjännite.

Esimerkiksi kenno 10 eli Koivuharjun lähdön katkaisijan sallittu maadoitusresistanssin  $R_e$  saadaan laskettua seuraavalla tavalla. Kun tiedetään aika-asettelun arvo  $t$ , joka tässä tapauksessa on 0,4 s, johon lisätään vielä viiveiden ja valokaaren sammutukseen kuluva aika noin 100 ms. Seuraavaksi katsotaan 0,5 sekunnin kohdalta kuvasta 24, mikä on aikaa vastaava sallitun kosketusjännitteen arvo  $U_{Tp}$ . Kun tiedossa on myös Karihaaran maasulkuvirta eli pyöristettynä 156 A ja tiedetään, että ehto  $U_e \leq 2 \times U_{Tp}$  on voimassa, niin sallittu resistanssin arvo  $R_e$  saadaan laskettua soveltamalla kaavaa 21.

$$R_e = \frac{2 * 220V}{156A} = 2,8\Omega \quad (21)$$

Taulukkoon 15 on kyseisen lähdön katkaisijalle merkitty sallituksi resistanssiksi 3  $\Omega$ , joka on sama kuin kaavalla 23 saatu arvo pyöristettynä.

## 6. KARIHAARAN KYTKINASEMAN NYKYTILANNE

Karihaaran 110/20 kV:n kytkinasema on punatiilinen kivirakennus, joka on rakennettu kokonaisuudessaan 1975 vuoden tienoilla. Katon yläpohja on peruskorjattu tasakatosta harjakatoksi. Pinta-alaltaan rakennus on asemasta löytyneiden rakennuspiirustusten mukaan 202 m<sup>2</sup> ja tilavuus 760 m<sup>3</sup>.

Rakennukselle suoritettiin kuntotarkastus maaliskuu- ja huhtikuun aikana, jonka suoritti Rakennustoimisto Arvo.K Keränen Ky, ja tarkastajana toimi itse Arvo Keränen. Kuntotarkastuksesta on Keräsen toimesta laadittu raportti, jonka mukaan rakennuksen yleiskunto on hyvä, mutta rakennus vaatii kuitenkin jonkin verran kunnostusta ja korjauksia. Korjaustarpeet on merkitty ylös Keräsen tekemään kuntoarvio raporttiin. Suoritettavia korjauksia ovat muun muassa: sisääntulojen ovien kynnyksien korjaukset, laittilan lattiamateriaalin asbestikartoitus, lattiamateriaalin uusinta ja kaapelikanavien tukirautojen puhdistus, ruostesuojaus maalaus sekä salaojitusten tekeminen. /23/

### 6.1. 110kV:n kytkinkenttä

Kytkinkenttä on otettu käyttöön vuonna 1987, ja pääosin kentällä on käytetty ASEA:n eli nykyisen ABB:n valmistamia laitteita ja laitteistoja.

#### 6.1.1. Katkaisija

110 kV:n katkaisija on tyypiltään HPL 123/25A1, ja ohjaimen tyyppi on puolestaan BLG 1002. Se on SF6-katkaisija, ja sen katkaisukyky on koestuspöytäkirjojen mukaan 25 kA sekä nimellisvirta 2500 A.

Katkaisijalle on tehty vuosien varrella useampia huoltoja. Siihen on vaihdettu keskimmäisen pilarin (L2) kampikammio ABB:n toimesta vuonna 1994, ja tiheysvahti on uusittu syksyllä 2000. Viimeisin vuosihuolto on tehty vuonna 2007 Fortumin toimesta, ja

seuraavan huollon aika olisi tänä vuonna 2012. Viimeisimmässä koestuksessa on todettu katkaisijan olevan kunnossa.

ABB:n keski- ja suurjännitetuotteiden asiantuntijapalveluista vastaavan Hannu Honkakosken mukaan tämän tyyppisten katkaisijoiden käyttöikä on noin 40 vuotta. Edellytyksenä on kuitenkin, että katkaisijalle tehdään niin sanottu täyshuolto elinkaaren puolivälissä. Katkaisija on otettu käyttöön 1987, joten sille on nyt kertynyt ikää 25 vuotta. Iän perusteella katkaisijan täyshuollon tekeminen on nyt ajankohtainen. Honkakosken mukaan täyshuollon yhteydessä suositellaan myös modernisoinnin tekemistä, koska uusimpiin malleihin on tehty parannuksia. Täyshuollon tekemisen jälkeen käyttöikää pitäisi olla vielä jäljellä noin 15 vuotta. Katkaisijoiden uusiminen ei ole siis vielä ihan lähiaikoina tarpeen, sillä siihen on saatavilla vielä varaosiakin. /17/

### **6.1.2. Erotin**

Karihaaran kytkinkentän ASEA:n valmistaman kiertoerotin tyyppi on NSA 145/1250, ja se on otettu myös käyttöön vuonna 1987.

Erotimeen on tehty huoltoja suhteellisen säännöllisin väliajoin, ja viimeisimmän huollon on suorittanut Infratek vuonna 2009, seuraava huolto tulisi suorittaa vuonna 2015. Erotin huoltopöytäkirjassa ei ole mainittu mitään huomioon otettavien arvoista, mistä voidaan päätellä, että erotin on todettu olevan kunnossa.

Käyttöikä erotimella on noin 40 vuotta, mikäli erotinta huolletaan säännöllisin väliajoin. NSA- erotintyyppiä valmistetaan edelleen, joten siihen on myös varaosia saatavilla. Ikää erotimella on noin 25 vuotta eli uusimisen tarvetta ei lähivuosien aikana ole. /17/

### 6.1.3. Virta- ja jännitemuuntajat

Virta- ja jännitemuuntajien käyttöönottovuosi on 1987, ja ne ovat myös ASEA:n valmistamia. Tyypiltään virtamuuntaja on vähäöljymallinen IMBD145A3, ja niitä on 3 kappaletta Jännitemuuntajan tyyppi on EMFC 145, ja niitä löytyy myös 3 kappaletta.

Huoltokorttien mukaan jännitemuuntajalle ei ole käyttöönoton jälkeen tehty mitään erityisiä huoltoja. Virtamuuntajaan on laitettu lakkaa kivitettyihin kohtiin vuonna 1989. Mikäli vikapaikan läpi pääsee kosteutta ja jäätyy, niin eristys voi haljeta. Vuonna 2003 ABB:n henkilökunta on käynyt korjaamassa virtamuuntajasta öljyvuodon./17/

ABB:n Honkakosken mukaan virta- ja jännitemuuntajien suositeltu huoltoväli on noin 6 vuotta. Kyseisten muuntajien ohjeessa kerrotaan, että 15 - 20 vuoden jälkeen olisi suositeltavaa tehdä perusteellinen tarkistus. Elinikä virta- ja jännitemuuntajilla on ABB:n laatiman oppaan mukaan yli 30-vuotta, eli niillä olisi käyttöikä tämän perusteella jäljellä noin 10 vuotta. Kokonaan uusien jännite- ja virtamuuntajien vaihtaminen ei ole ajankohtainen aivan lähivuosina, sillä niihin on vielä saatavissa varaosiakin. Virta- ja jännitemuuntajille olisi kuitenkin syytä suorittaa huolto. /17/, /9/, /10/

### 6.1.4. Ylijännitesuojat

Kytkinasemalta löytyy kolmea erityyppistä ZnO- ylijännitesuojaa ja kaikki ovat ASEA:n valmistamia. Siellä on 3 kappaletta sinkkioksidilylijännitesuojia tyyppiä XAR 123A3, joiden nimellisjännite on 120 kV. Nimellisjännitteeltään 24 kV:n ylijännitesuojia on myös 3 kappaletta, ja ne ovat XBE 24A2- tyyppisiä. Kolmas 72 kV:n ylijännitesuoja on tyypiltään XAR123N, ja niitä löytyy 1 kappale.


Käyttöältään ylijännitesuojat ovat Honkakosken mukaan toimintakerroista riippuen 30 - 40 vuotta. Ylijännitesuojiin ei ole erillisiä varaosia vaan laite on uusittava, mikäli se vikaantuu. /17/



## 6.2. Päämuuntaja PM1

Alun perin Karihaaran kytkinasemalla on ollut Strömbergin, eli nykyisen ABB:n valmistama 15 MVA:n muuntaja. Kyseinen muuntaja on valmistettu vuonna 1967, jolloin se on hankittu Syväkankaan kytkinasemalle. Vuonna 1986 muuntaja siirrettiin Karihaaran kytkinasemalle, missä se oli käytössä vuoteen 1997 asti.

Nykyinen Karihaaran kytkinasemalla toiminnassa oleva ABB:n valmistama 25 MVA:n muuntaja on tyypiltään KATI 123x25. Muuntaja on öljyeristeinen tehomuuntaja, jonka valmistus- ja käyttöönottovuosi on 1997. Muuntaja on standardin IEC 76 mukainen ja jäähdytystapana siinä on käytössä ONAF (ONAN 60%). Käämikytkimen tyyppi on UZERN 550/300, ja siinä on 19 asentomahdollisuutta. Nämä ja loput muuntajan arvot on kirjattu muuntajan kilpiarvoihin (kuva 27).

**ABB Transmit Oy** 

3 - v. muuntaja Laji KATI 123 X 25 Nro 801106 Valmistusvuosi 1997 C E

Standardit IEC 76 Kytkenä YNd11 Jäähdytystapa ONAF (ONAN 60 %) 50 H:

A - B - C	25000	kVA	110000 ± 9 x 1,67 %	V	114 - 131 - 154	A
a - b - c	25000	kVA	21000	V	687	A
		kVA		V		A

Eristystaso

A - B - C - N	LI 550 AC 230	kV	as. 19 10,2	x ln	2	s
a - b - c	LI 125 AC 50	kV	as. 19 10,2	x ln	2	s
		kV		x ln		s

Symm. oikosulkukestoisuus

Suunta ABCN/abc

Tehoperusta 25000 kv

Säätöasento 1 10 19

Oikosulkuimpedanssi	10,7	10,0	9,8							%
Oikosulku-resistanssi	0,44	0,45	0,58							%
Nollaimpedanssi	9,2	8,9	9,1							%

Tyhjäkäyntihäviöt 14,4 kW Kokonaispaino 41100 kg Nostettavan laatikon paino - kg

Tyhjäkäyntiteho 26 kVA Öljyn paino 10100 kg Kuljetuspaino öljyineen 38500 kg

Jäähdyttimien tehontarve 0,9 kW Aktiivisen osan paino 22700 kg Kuljetuspaino öljytä - kg

Laatikko on tyhjänkestävä

Kuva 27 Karihaaran kytkinaseman muuntajan PM1 kilpiarvot

Muuntajalle on tehty vuosien aikana muutamia huoltoja ABB Oy Servicen toimesta. Viimeisin käämikytkinhuolto on huoltokortin mukaan tehty vuonna 2008, ja muuntajaöljyanalyysi on otettu vuotena 2009. Käämikytkinmuuntajan huolto-/tarkastuspöytäkirjan mukaan käämikytkin on hyvässä kunnossa. Muuntajaöljyn analyysiselosteen mukaan ovat myös siinä tarkastetut arvot suositusten mukaiset.

Muuntajan käyttöikä on ABB:n arvion mukaan säännöllisesti huollettuna noin 40- vuotta ja perushuollolla saadaan ikää jatkettua 20 vuodella. Ihanteellinen ikä perushuollon tekemiselle on muuntajalla 25 - 30 vuotta. Karihaarassa olevaan muuntajaan on myös saatavilla varaosia. Ikää Karihaaran kytkinaseman muuntajalla on vasta 15 vuotta, joten uuden muuntajan hankkiminen ei lähitulevaisuudessa ole tarpeellista. /17/, /32/

### **6.3. 20kV:n kojeisto**

Karihaaran kytkinasemalla on käytössään kaksoiskiskojärjestelmä, jonka oikosulkuteho on 500 MVA, ja nimellisvirta on 1000 A. Kiskoston materiaalina on käytetty alumiinia.

Kytkinasemalla on 16 metallirakenteista suljettua kennoa. Lähtökennoja on 11 kappaletta. Lähtöjen nimet ovat Peurasaari, Marttala, Kauppatori, Pirtti, Koivuharju, Kivikko, Kivikangas, Ristikangas ja kolme lähtöä on Isohaaralle päin. Näistä kennoista johtolähdöt on kaapeloitu APYAKMM 3 x 120 mm<sup>2</sup> kaapelilla. Yksi kenno on käytössä omakäyttömuuntajalle, yksi mittauksille ja yksi toimii kiskokatkaisijakennona. Karihaarassa on käytössä maasulkuvirran kompensointilaitteisto, jota varten on myös käytössä oma johtolähtö. Kompensointilähdön kaapelointiin on käytetty kaapeli tyyppiä HXCMK 3 x 35Cu. Päämuuntajalle on myös oma johtolähtönsä ja tämä on kaapeloitu käyttämällä AHXAMK-W 3 x 500 mm<sup>2</sup> tyyppistä kaapelia.

Kuva 28 on otettu Karihaaran aseman sisällä sijaitsevasta uusittavasta 16- kennoisesta 20 kV:n kojeistosta.



**Kuva 28 Karihaaran 20 kV:n kojeisto**

### **6.3.1. Katkaisijat ja erottimet**

Karihaaran kytkinasemalla on kahden tyyppisiä katkaisijoita. Sieltä löytyy kennosta B4 ABB:n valmistama VD4 tyhjökatkaisija, joka on otettu käyttöön vuonna 2008. Tämän katkaisijan katkaisukyky on 20 kA ja nimellisvirta 630 A.

Muut katkaisijat, joita on 13 kappaletta, ovat Strömbergin valmistamia OSAN 24A1 vähäöljykatkaisijoita. Ne on otettu käyttöön 1975 vuoden tienoilla. Katkaisukyky kyseisillä katkaisijoilla on 32 kA ja nimellisvirta on 1250 A

Viimeisin huolto katkaisijoille on tehty vuonna 2011. Tarkastus/huoltopöytäkirjojen mukaan katkaisijoihin on uusittu huollon aikana joitain kulumia osia kuten vaimennustyyny, laippatiivisteet, täyttö- ja tyhjennysventtiilit. Kaikkiin katkaisijoihin oli vaihdettu myös katkaisuöljyt.

Ilman peruskorjauksia katkaisijoiden ja erottimien käyttöikä on Honkakosken mukaan arviolta 40 vuotta säännöllisesti huollettuna. Ohjaimen käyttöikä on ilman peruskorjauksia

yli 10000 käyttökertaa. Katkaisijoihin on saatavilla kaikkia varaosia, eikä varaosien saatavuuteen ole takarajaa tiedossa. OSAN 24A1 katkaisijoilla on kertynyt käyttöikä jo 37 vuotta, joten ne olisi syytä uusida lähivuosien aikana. VD4 tyhjäkatkaisija on puolestaan vain muutaman vuoden vanha, joten sillä on käyttöikä jäljellä vielä yli 30 vuotta. /17/

Erottimet on otettu samana vuonna käyttöön kuin katkaisijatkin. Erottimet ovat OJON -merkkisiä ja niitä löytyy sekä käsi- että moottoriohjattavina. Jos erottimet huolletaan säännöllisesti, niin niiden käyttöikä on noin 40 vuotta. Honkakosken mukaan käytössä oleva OJON erotintyyppi on erittäin luotettava ja niitä valmistetaan edelleen eli myös varaosia on vielä saatavissa. Erottimillakin alkaa olla käyttöikä jo saavutettu, joten niiden uusiminen OSAN katkaisijoiden ohella on aiheellista parin vuoden sisällä.

### **6.3.2. Jännite- ja virtamuuntajat**

Karihaaran kytkinaseman jännitemuuntajat ovat tyyppiltään KRES 24, virtamuuntajat ovat tyyppiä KOFA 24 ja kaapelivirtamuuntajat KOLA 06. Muuntajilla ei ABB:n mukaan ole varsinaisia tyyppivikoja, mutta KRES muuntajia vikaantuu Honkakosken mukaan silloin tällöin ylijännitteiden ja verkon kippivärähtelyiden takia. Käyttöikä kyseisillä muuntajilla on suunnilleen 30 - 40 vuotta. Käyttöönottovuosi jännite- ja virtamuuntajilla on 1975, joten ne olisi myös syytä uusida lähivuosien aikana. /17/

## **6.4. Relesuojaus**

Sekä 110 kV:n että 20 kV:n relesuojaukset on toteutettu nykyisen ABB:n eli entisen ASEA:n ja Strömbergin valmistamien releiden avulla. Seuraavissa kappaleissa on kerrottu hieman tarkemmin, mitä releitä Karihaaran kytkinaseman suojauksessa on tällähetkellä käytössä.

### 6.4.1. 110kV:n Ylivirta- ja differentiaalisuojaus

Vakioaikaylivirtasuojana karihaaran kytkinasemalla on tällä hetkellä käytössä ASEA:n RACID- tyyppinen kolmivaiheinen vakioaikaylivirtarelesuoja. Kyseinen rele sijaitsee 110 kV:n ohjaus- ja reletaulussa.

Toinen muuntajan ylivirtasuojista on Strömbergin SPAJ 3A5 J3 tyyppinen ylivirtarele. Tämä rele on sijoitettu 20 kV:n kojeistoon kennoon B13.

Muuntajan erovirtasuojana on käytössä ASEAN RXDSB 4- tyyppinen differentiaalirele. Tämä on sijoitettu RACID- releen tavoin 110 kV:n ohjaus- ja reletauluun.

Käytössä olevien suojareleiden käyttöikä on ABB:n arvion mukaan vähintään 40 vuotta, mikäli ne huolletaan 10 vuoden välein. Viimeisimmän koetuksen releille on tehnyt ALSTOM Finland Oy Power Service vuonna 2009. RACID ja RXDS releille ei ole huoltopakettia ja releiden komponenttien saatavuus on rajoitettu tai niitä ei ole. Releet ovat vuosimallia 1986, joten niillä alkaa olla ikää 26 vuotta. /17/

### 6.4.2. 20kV:n relesuojaus

Karihaaran 20 kV:n relesuojaukseen on käytetty viiden tyyppisiä 1970-luvun puolen välin tienoilla valmistettuja releitä:

- 3~ylivirtarele SPAJ 3A5 J3
- maasulun suuntarele SPAS 1B1 J3
- vakioaikaylijänniterele SPAU 1K100 J3
- jälleenkytkentärele SPAT 2P1 J2
- REF 541 (vm.2008)

Jos releitä huolletaan säännöllisesti noin 10 vuoden välein, niin niiden käyttö ikä on arviolta 40 vuotta. Yleisenä ongelmana releillä on Honkakosken mukaan se, että potentiometrit, teholähteet, elektrolyyttikondensaattorit kuluvat ja vanhenevat. Releisiin on

vielä varaosia saatavilla. Kaikilla releillä, lukuun ottamatta REF541, alkaa käyttöikä olla loppuillaan, mistä syystä releet olisi hyvä uusia lähiaikoina. /17/

### 6.4.3. Valokaarisuojaus

Karihaaran kytkinasemalle on vuonna 1996 asennettu UTU:n valokaarisuojausjärjestelmä. Valokaarisuojausjärjestelmä koostuu neljästä eri yksiköstä:

- virtarele: UTU CR 3
- valokaarirele UTU ARC 10
- valokaapeli: HFBR EUS
- järjestelmävikarele: UTU BR4 (lisäsuojaus)

UTU:n laatiman valokaarisuojausjärjestelmän asennus- ja käyttöohjeen mukaan releelle ei tarvitse tehdä mitään säännöllistä huoltoa.

### 6.4.4. Releasettelut

Releasetteluarvot on poimittu taulukkoon 16 kaukokäyttöjärjestelmästä. Releasettelutilanne on otettu 4.11.2009.

**Taulukko 16 Karihaaran aseman 20 kV:n releasettelut**

Kenno	I>	A	sek.	I>>	kA	Maasul.	sek.	pjk/ajk	VM.
4 Maasulun sammutus		130	0,2		0,8		-		100/5
5 Peurasaari MA50		400	0,4		1,0		0,4		500/5
6 Kauppatori		160	0,4		2,0		0,4		100/5
7 Isohaara I		150	0,4		0,8		0,4	---/30s	100/5
8 Pirtti		150	0,4		2,0		0,4		100/5
9 Isohaara 3		150	0,4		0,8		0,4		100/5
10 Koivuharju		160	0,4		2,0		0,4		100/5
11 Mittaus		400	1,6		5,2		-		400/5
14 Kivikko		200	0,6		1,0		0,4		200/5
15 Marttala		150	0,4		1,5		0,4		100/5
16 Kivikangas		200	0,6		1,0		0,4		200/5
17 Isohaara 2		150	0,4		0,8		0,4	---/30s	100/5
18 Ristikangas		100	0,4		0,8		0,4	---/30s	100/5
13 Päämuuntaja 1		800	2,0		5,6		-		800/5

Valokaarisuojaus on aseteltu  $250\% \cdot I_N$ , ja releasettelut 110 kV:n puolella ovat puolestaan seuraavanlaiset kuin taulukoissa 17 on esitetty:

**Taulukko 17 Karihaaran kytkinaseman 110 kV:n releasettelut**

Muuntaja	$I_{>}$	A	sek	$I_{>>}$	kA	Virtamuuntajat
PM1		160	2,0		3,0	200/5 viivee $I_{>>}$ 200ms

PV OY	Isohaara		A		sek	mom.		A	Maasulku		sek.
Isohaara 1	ylivirta	200		1,5			600			1,5	
Isohaara 2		170		0,8			400			0,8	
Isohaara 3		170		0,8			400			0,8	

Karihaaran kytkinaseman lähtöreileille on annettu seuraavanlaiset lähtöasettelut:

- $U_0=10\%$
- $I_{0>}=3\text{ A}$  (ensiössä)
- $t=0,4\text{ s}$

Kiskosuoja on hälyttävä ja sen asettelut seuraavanlaiset:

- $U_0=70\%$
- $t=5-10\text{ s}$

## 6.5. Ohjaus- ja kaukokäyttöjärjestelmä

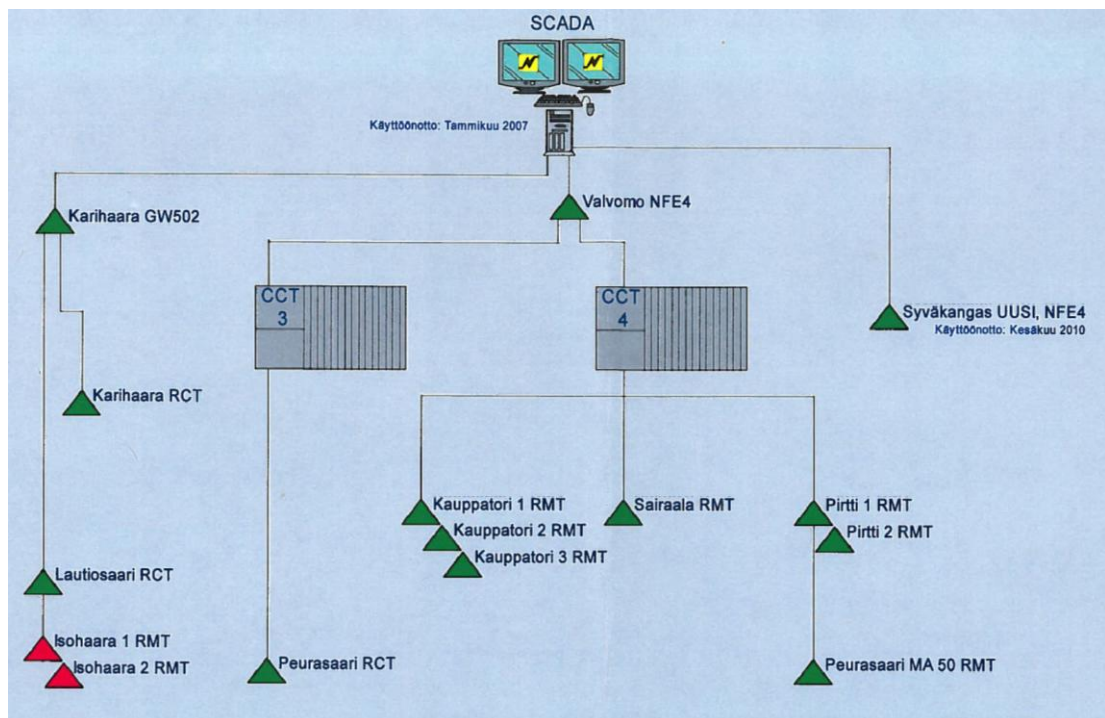
Alun perin Kemian Energia Oy:lle on hankittu SLOCON Oy:n käytönvalvontajärjestelmä PROCOL240. Nykyään Kemian Energialla on käytössään Netcontrol Oy:n tuotteisiin kuuluva Netcon 3000 Scada käytönvalvontajärjestelmä.

Alapuolella kuvassa 29 on kaavio nykyisestä kaukokäyttöjärjestelmästä. Vanhasta PROCOL240-järjestelmästä on jäänyt käyttöön kuvassa näkyvät CCT -keskusohjaimet, sekä RMT ja RCT ala-asetat. Keskusohjaimen tehtävänä on ohjata keskuksen ja ala-asettien (RMT ja RCT) välistä tietoliikennettä. CCT:n tehtäviin kuuluu myös ohjata välittömiä prosessinäyttöjä, kuten hälytysvaloja ja mittauksia. RCT -ala-asetien käskystä tapahtuvat ohjaukset ovat pulssimaisia releohjauksia. RCT:n toimintaa, väylän liikennettä

ja keskuksen tietoliikennettä ohjaa PIO-ohjainyksikkö. RMT-ala-asema on toimintaperiaatteeltaan samanlainen kuin RCT, mutta sillä on pienempi kapasiteetti /36/

Liikennöintiyksikkö NFE4 ja GW502, kuuluvat puolestaan Netcontrol Oy:n Netcon3000 tuotteisiin. Ethernet verkkoliitännäiset Netcon NFE4-liikennöintiyksikkö huolehtii järjestelmän ala-asemien liikennöinnistä. Netcon GW502:sta käytetään sähköaseman ala-asemien, suojausjärjestelmien ja muiden liikennöivien laitteiden liittämässä keskusasemaan. /31/

Nykyinen käytönvalvontajärjestelmä Netcon 3000 on otettu käyttöön vuonna 2007. Karihaaran ja valvomon Scadan välille on vedetty uusi valokuitu, joka on otettu käyttöön vuonna 2011. Syväkankaan sähköasemalla oleva NFE4 liikennöintiyksikkö on otettu käyttöön kesällä 2010. Netcontrol Oy:n kotisivuilta löytyvien tietojen mukaan sähköasemien automaatio uusitaan yleensä 20 - 25 vuoden välein, joten ohjaus- ja kaukokäyttöjärjestelmän uusiminen ei ole tarpeen vielä pitkiin aikoihin. /31/



**Kuva 29** Kaukokäyttöjärjestelmäkaavio



Kemin Energian asiakastietojärjestelmänä toimii Ellarex, josta saadaan kaikki tärkeät asiakastiedot, kuten esimerkiksi asiakkaiden kulutustiedot, käyttöpaikkatunnukset ja osoitetiedot laskutusta varten. Kemin Energian ohjelmistoihin kuuluu myös Xpower ja Xpower DMS verkkotietojärjestelmä, joka sisältää tietoja jakeluverkon eri komponenteista kuten jakokaapeista, sähköasemista ja muuntamoista. Xpowerissa on myös laskentaohjelma, jonka avulla voidaan laskea muun muassa oikosulkuvirtoja, maasulkuarvoja ja tehoja.

## 6.6. Maadoitus

Karihaaran kytkinasemalla on maahan kaivettu maadoitusverkko, johon yhdistetty kaikki kytkinaseman laitteet ja kojeistot. 110 kV:n kytkinkentänlaitteet on yhdistetty maadoitusverkkoon juottamalla 50 mm<sup>2</sup>:n kuparilla, jotka on asennettu elementtiperustusten alapinnan tasoon.

Aidan molemmille puolille on tehty maadoitus 16 mm<sup>2</sup> kuparilla, joka on kaivettu noin 30 cm:n syvyyteen. Aita on yhdistetty maadoitukseen 15 metrin välein. Maadoitusverkkoon on myös yhdistetty vuonna 2008 käyttöönotettu maasulkuvirran kompensointilaitteisto. Karihaaran laaja maadoitusverkko on maasta erotettu verkko, joka on siis tehty sammutetuksi verkoksi kompensointilaitteiston avulla.

Karihaaran kytkinasemalle on suoritettu laaja maadoitusmittaus viime vuoden (2011) syksyllä, missä on todettu, että maadoitusjännitteet ovat vuoden 2011 ja 2021 tilanteissa standardin SFS 6001 ja viestintäviraston rakennemääräysten mukaiset.

## 6.7. Omakäyttö- ja tasasähköjärjestelmä

Omakäyttömuuntaja on nimellisteholtaan 50 kVA ja se on tyypiltään Strömbergin vuonna 1976 valmistama KTMU 24xA2211. Muut OKM:n kilpiarvot ovat seuraavanlaiset:

- $U_1/U_2= 20000/400/231$  V (jännitteen säätö  $\pm 2 \times 2,5$  %)
- $z_k\% = 4,0$
- $P_0=180$  W
- $P_k=1150$  W

Omakäyttökeskus OK 380/220 sisältää sulakeryhmiä 42 kappaletta. Sulakekokoina ovat 6 A, 10 A, 16 A ja 35 A. Lähdöt menevät muun muassa pistorasioille, lämmityksille, valaistuksille, ulkokentän JK1:lle, akkuhuoneen 24 V laturille ja kWh-mittarille. OKM:n katkaisijalähtö on 20 kV:n kojeiston kenno B3.

Tasasähkökeskuksessa on 18 ryhmää ja sen pääsulakkeet ovat 2 x 50 A. Tasasähkökeskukselta on lähtöjä muun muassa 110 V:n laturille, 20 kV:n kojeiston ohjausjännitteelle, ulkokentällä olevalle jakokaapille JK1, 110 V:n tasasähkön valvonnalle, ohjaustauluille OT3 ja OT1 sekä valokaarisuojukselle ja maasulkuvirran kompensoinnille.

Kytkinaseman 110 V:n akusto on uusittu vuonna 2007, jolloin vanhasta akustosta on siirretty 24 V:n järjestelmään kaksi akkua. Jännitteeltään 110 V:n akkuja on yhdeksän kappaletta ja ne ovat Classic 12 V 20PzS100 LA tyyppisiä. 24 V:n järjestelmän kaksi akkua ovat puolestaan tyypiltään 100 AH SGN 12/100 ja ne ovat vuosimallia 1998. Akkujen tarkastukset suoritetaan kytkinasemalla kahden kuukauden välein.

## 6.8. Maasulkuvirran kompensointi

Kemin Energia on ottanut käyttöön vuonna 2008 maasulkuvirrankompensointilaitteiston. Maasulkuvirransammutuslaitteiston on toimittanut ja tehnyt Maviko Oy.

Karihaaran 110 kV:n kytkinkentälle on sijoitettu kompensoinnille betonielementtirakennus, jonka on suunnitellut ja asentanut Möre Trafo As. Rakennus sisältää Trench Groupin valmistaman säätösydämissen maasulkukelan. Maasulkukelan virta-alue on säädettävissä kuormitettuna portaattomasti ja sen kilpiarvoja ovat:

- $U_N$ : 21 kV / 3 kV,
- $P_N$ : 2500 kVA ja
- $I_N$ : 206 A
- virta-alueen portaaton säätö kuormitettuna:
  - jatkuva virta: 21...206 A (10...100 %)
  - lyhytaikaisesti 2h: 206...258 A
- standardit: VDE 0532 / IEC 289

Kompensointirakennuksessa on myös Möre Trafon valmistama ZN -kytkentäinen maadoitusmuuntaja, jonka kilpiarvot ovat:

- $U_N$ : 21 kV
- $P_N$ : n.2500 kVA ( $I_N=69$  A)
- tyyppiteho: n.1445 kVA ( $I_N=69$  A)
  - lyhytaikaisesti 2h: n.1812 kVA (1,25 x  $I_N$ )
- standardit: IEC 76

Maasulkuvirran kompensointilaitteistoa syöttää 20 kV:n kenno B4, joka on varustettu ABB:n VD4-tyhjäkatkaisijalla. Kompensointiyksikön suojauksessa käytetään REF541 relettä. Maasulkuvirran kompensoinnin säätäjäkaappi on nimetty kennoksi OT4. Säätäjäkaappi (kuva 30) sisältää Trench Groupin valmistaman EFC20 tyyppisen maasulkuvirran kompensointi säätäjän ja ABB:n valmistaman SACO 16D1

hälytysjärjestelmän. Maasulkuvirran kompensointilaitteisto on liitetty käytössä olevan NetControl Oy:n kaukokäyttöjärjestelmään.



**Kuva 30 Maasulkuvirran kompensoinnin säätäjä ja hälytyskeskus**

Kompensointimuuntaja on käyttöönoton jälkeen käynyt tehtaalla korjattavana ja testattavana, koska siinä havaittiin öljyvuo, radiaattorit olivat pullistuneet ja paisuntasäiliön pohjalla oli roskaa. Korjattu maadoitusmuuntaja otettiin käyttöön vuoden 2009 kesällä.

## 7. SANEERAUKSEN TOTETUSTUSEHDOTUS JA LAITTEIDEN VALINTA

Investointiehdotukseen on laitteiden rakennevaatimusten osalta otettu mallia Syväkankaan sähköasemalle tehdystä hankintaohjelmasta.

### 7.1. 110kV:n kytkinkentän laitteet

Kytkinkentällä olevat laitteet on otettu käyttöön vuonna 1987, joten niiden ikä on nyt noin 25 vuotta. Laitteiden arvioitu käyttöikä on noin 40 vuotta, eli niiden uusiminen ei ole ajankohtaista ihan lähivuosien aikana. Niille olisi kuitenkin syytä suorittaa suositellut huollot.

Jos Karihaaran kytkinkentän laitteet uusittaisiin, niiden termiset mitoitusarvot tulisi olla aikaisemmin taulukkoon 5 merkattujen arvojen mukaiset:

- $i_s = 63 \text{ kA}$
- $I_{\text{dyn}} = 25 \text{ kA}$
- $I_N = 2000 \text{ A}$

### 7.2. 20kV:n kojeisto ja laitteet

Kojeistossa olevat laitteet on otettu käyttöön vuoden 1975 tienoilla, eli ikää niillä on jo 37 vuotta. Arvioitu käyttöikä on puolestaan 40 vuotta, minkä vuoksi 20 kV:n kojeisto laitteineen on syytä uusia kokonaisuudessaan.

#### **KOJEISTON RAKENNE:**

Kojeiston rakenteeksi valittaisiin 2-kiskojärjestelmäinen Metal-Clad -tyyppinen teräslevykoteloitu ilmaeristeinen kojeisto.

Liitteessä 1 on esitetty Karihaaran kytkinaseman pääkaavio. Kennoja on 18 kappaletta, joista kaksi jää varakennoiksi, ja joista toinen on syötön varakenno. Nykyisen sähköaseman tiloihin mahtuisi toiselle puolen 13 kennoa ja omakäyttömuuntaja, sekä toiselle puolelle mahtuisi 14 kennoa. Sähköasemalle on siis hyvä varata tilaa lisäkennoille, mikäli niitä tarvitsee tulevaisuudessa lisätä.

Kojeiston mitoitusarvot on määritelty taulukossa 4 olevien vikavirta-arvojen perusteella. Taulukon mukaan terminen oikosulkukestoisuuden arvo tulisi olla vähintään 8 kA, jotta varmistutaan siitä, että mitoitus on riittävä, niin valitaan termiseksi oikosulkukestävyuden mitoitusarvoksi 10 kA. Ith:n avulla saadaan IEC standardin taulukoiden 2 ja 3 perusteella määriteltyä  $I_n$  ja  $I_{dyn}$ . Mitoitusarvot ovat seuraavanlaiset:

• nimellisjännite	20 kV
• suurin käyttöjännite	24 kV
• nimellisvirta kokoojakisko	1250 A
– pääkatkaisijakenno	1250 A
– kiskokatkaisijakenno	1250 A
– pääkatkaisijan varakenno	1250 A
– johtolähtökennot	630 A
– mittauskenno	630 A
• dynaaminen oikosulkukestoisuus	25 kA
• terminen oikosulkukestoisuus	10 kA

### **KATKAISIJAT:**

Katkaisijoiksi valittaisiin tyhjökatkaisijat, sillä Syväkankaan sähköasemalla on myös katkaisijoina tyhjökatkaisijat. Rakenteeltaan valitaan vaunukatkaisijamalli, joko täysimittaisella kokovaunulla tai kasettiyksikössä ulosottovaunulla.

Katkaisijat ovat paikallis- ja kauko-ohjattavia, ja ne varustetaan jälleenkytkentöihin soveltuvalla moottorihjaimella.

Katkaisijoiden mitoitusarvot ovat seuraavanlaiset:

- nimellisvirrat (pääkaavion mukaan):
 

– syöttökenno	1250 A	1 kpl
– kiskokatkaisijakenno	1250 A	1 kpl
– johtolähtökenno (B15)	1250 A	1 kpl
– johtolähtökennot/laitelähdöt	630 A	min. 14 kpl
– $I_{k1s}/I_{kdyn}$	10 kA / 25 kA	
- katkaisijan laukaisuketat
- kiinniohjausketat
- pumppauksen esto

### **VIRTAMUUNTAJAT:**

Kisko- tai reikävirtamuuntajat ovat tyypiltään:

- mittaussydän  $\_ / 1$  A, 5 VA, lk 0,2 Fs < 5 (mittaussydämen tarve suoja-reiden mukaan)
- suojaussydän  $\_ / 1$ A, 5 VA; 5P20 tai 10P15 (suoja-reiden mukaan)

Kaapelivirtamuuntajat

- muuntosuhde voi olla aseteltavissa taikka yksialueinen
- kuormitus esimerkiksi 5VA

### **JÄNNITEMUUNTAJAT:**

Mittauskenno:

- $20000 : \sqrt{3} / 100 : \sqrt{3} / 100 : 3V$   
mittauskäämi > 5 VA, lk 0,2  
suojauskäämi 10 VA 3P

Syöttökenno:

- $20000 : 100V$   
mittauskäämi 5 VA, lk 02

### 7.3. Relesuojaus

Suojareleiksi numeeriset kennotermiinaalit, jotka on varustettu rele-, mittaus-, ja ohjaustoiminnoilla. Kennotermiinaalireleistä käyttöön otetaan katkaisijavikasuojaus sekä vaihekatkosuoja.

Kennotermiinaalien ominaisuuksiin pitää sisältyä oikosulkuvirtaan ja vikaresistanssiin perustuvat vianpaikannustoiminnot, sekä maasulkuvian paikannus pitää olla ladattavissa myöhemmin kennotermiinaaliin. Releväylän ja tiedonsiirtoyksikön avulla yhdistetään kennotermiinaalit kaukokäyttöön, josta vika- ja mittaustiedot siirretään keskusvalvomoon.

#### OIKOSULKUSUOJAUKSET

Pääkennon ja kiskoston oikosulkusuojaus tehdään vähintään kaksiportaisena, ja suojaukseen käytetään kennotermiinaalirelettä sekä erillistä ylivirta varasuojarelettä.

Pääkennon ja lähtöjen ylivirtasuojien välisellä lukituksella saadaan toteutettua kokoojakiskoston suojaus. Pääkennon lukitus viedään 110 kV:n kennotermiinaalireleelle. Pääkennon ylemmän virtaportaan toiminta lukitaan lähtöjen alemman virtaportaan havahtumiseen, jolloin alemman portaan havahtuessa ei syötön ylempi virtaporrasta toimi.

Muuntajan sekä ylä- että alajännitepuoli suojataan differentiaalireleellä. Ylivirtatoiminto ominaisuus on myös distanssireleessä.

Johtolähtöjen oikosulkusuojaukseen käytetään kennotermiinaalirelettä, jolla suojaus toteutetaan myös vähintään kaksiportaisena. Suojauksessa käytetään aikaporrastusta.



## **MAASULKUSUOJAUS**

Kiskoston suojaus toteutetaan kolmiportaisena kennoterminalilla, joka mittaa nollajännitettä. Suojaus toteutetaan aikaselektiivisenä lähdoissä olevien maasulkureleiden kanssa. Johtolähtöjenkin maasulkusuojaukseen käytetään kennoterminalirelettä. Selektiivisyydestä huolehtii peräkkäisten suojausportaiden välinen aikaporrastus.

Asemalla on maasulun kompensointilaitteet, jolla saadaan sammutettu verkko, jonka vuoksi maasulkusuojauksen on toimittava sekä erotetussa että sammutetussa verkossa.

## **VALOKAARISUOJAUS**

Valokaarisuojauksen tulee täyttää virta- ja valokaariehto. Toiminta-aika suojauksella tulisi olla alle 10 ms, kun katkaisijan toiminta-aikaa ei oteta huomioon. Valokaarisuojaukseen kuuluvat seuraavanlaiset yksiköt: valokaarivartija, virtamittausyksikkö, joka liitetään 110 kV virtamuuntajiin sekä valoanturit ja -kaapelit.

## **JÄLLEENKYTKENTÄ**

Kennoterminalit huolehtivat johtolähtöjen jälleenkytkennästä, jonka toiminnasta siirretään tieto väylän välityksellä kaukokäyttöön.

Pikajälleenkytkennän asettelu aika tulee olla alueella vähintään 0,1...1 s ja aikajälleenkytkentä puolesta alueella 30...180 s.

## **YLI- JA ALIJÄNNITESUOJAUS**

Mittauskennon kennoterminalin kiskojännitteen valvontaominaisuuden avulla, valvotaan yli- ja alijännitettä. Kokoojakiskoston yli- ja alijännite eivät laukaise pääkatkaisijaa, vaan 20 kV johtolähtöjen katkaisijat laukaistaan auki.

## 7.4. Apulaitokset

Ohjaustaulut OT, tasasähkökeskus TK sekä omakäyttökeskus OK ja omakäyttömuuntaja OKM on otettu käyttöön vuoden 1975 aikoihin. Koska näilläkin ikää on jo runsaasti, niin järkevintä on kojeiston uusinnan yhteydessä uusia myös kaikki edellä mainitut keskuksat ja OKM.

### **OHJAUSTAULUT (OT)**

Karihaaran kytkinasemalle asennetaan 3-kenttäinen ja vapaasti seisova teräslevy-rakenteinen ohjaustaulu. Tähän sijoitetaan 110 kV:n taulukaavio, päämuuntajan ohjauslaitteet sekä 110 kV:n kentän suojausta, ohjausta ja mittausta koskevat laitteet.

OT kenttiin 1-2 asennetaan 110 kV:n ja päämuuntajasuojauksen kennotermiinalit, differentiaalireleet ja jännitteensäätäjät sekä tarvittavat hälytyskeskukset ja kaukokäytön tiedonsiirtoyksiköt. Kenttä OT3 toimii mittauskenttänä. OT:ssä esitetään osoittavana mittareina 110 kV:n jännite ja PM1teho, sekä muuntajan PM1 käämikytkimelle laitetaan digitaalinen asennonosoitin.

Ohjaustauluun sijoitetaan paikallinen hälytyskeskus, ja hälytysten jälleenanto keskusvalvomoon tulee jokaiselta hälytyskanavalta.

### **TASASÄHKÖKESKUS LAITTEINEEN**

Tasasähkökeskuksen ominaisuusvaatimukset:

- yyyppi Kennokeskus
- kotelointiluokka IP34
- nimellisjännite 110 V
- nimellisvirta 125 A
- oikosulkukestoisuus 10 kA

Mikäli halutaan, voidaan tasasähkönsyöttö toteuttaa myös kahdennettuna.

**OMAKÄYTTÖKESKUS LAITTEINEEN JA OMAKÄYTTÖMUUNTAJA**

Omakäyttökeskuksen ominaisuusvaatimukset:

- tyyppi Kennokeskus
- koteloiluokka IP30
- nimellisjännite 400 V
- nimellisvirta 125 A
- oikosulkukestoisuus 10 kA

Karihaaran kytkinasemalle asennetaan uusi 50 kVA:n öljyeristeinen muuntaja koteloituna kojeiston viereen, kuten liitteessä 2.

## 8. KUSTANNUSARVIO

Kustannusarviot on laadittu ABB:n ja YIT:n antamien budjettiarvioiden perusteella. Vaihtoehtoisesti on myös laskettu Energiamarkkinaviraston (Emv:n) antamien sähköjakeluverkon komponenttien yksikköhintojen perusteella kustannusarvio kokonaan uudelle sähköasemalle rakennuksineen ja laitteineen.

### 8.1. ABB:n ja YIT:n budjettiarviot

Investointikustannukset perustuvat ABB:n ja YIT:n lähettämiin budjettiarvioihin. Hintarviot aseman uusimisesta on esitetty taulukossa 18. Edellä mainittujen yhtiöiden tekemät budjettiarviot on laadittu siltä pohjalta, että olemassa oleva rakennus säilytetään.

**Taulukko 18 Budjettiarviot /19/ /38/**

	<b>ABB</b> (alv 0%)	<b>YIT</b> (alv 0%)
110kV kytkinkentän laitteet	64 800 €	102 185€
20kV kojeisto ja apulaitteet	708 000 €	678 845€
Asennukset	214 000 €	91 070€
<b>Yhteensä:</b>	986 800€	872 100€

Koska kytkinkentän uusiminen ei ole nyt lähivuosina aiheellista, niin 20 kV:n kojeiston ja muiden aseman sisäisten laitteiden uusiminen ja suunnittelu tulisi maksamaan taulukossa 18 olevan 708 000, jos asennukset suoritetaan omalla työllä. Mikäli myös asennukset tilataan ABB:ltä, niin 20 kV kojeiston ja muiden laitteiden uusiminen asennettuna tulisi kokonaisuudessaan maksamaan **815 000 €**.

YIT:n antaman budjettiarviossa on jaoteltu asennuskustannukset siten, että apulaitteiden ja 20 kV:n kojeiston asennustyöt maksaisivat yhteensä 62 329 €. Yhteensä siis saneeraus kustannukset 20 kV:n puolelle maksaisivat suunnilleen **741 200 €**.

Kummankin sekä ABB:n että YIT:n budjettiarviot on laadittu 18 kenttäiselle 2-kiskokojeistolle. Kojeiston kennot sisältävät tyhjökatkaisijat, REF630 kennoterminaalit sekä REA valokaarisuojauksen.

Kumpaankin budjettiarvioon sisältyy projektinhoito, suunnittelu ja käyttöönotto. YIT:n tarjous ei sisällä maanrakennustöitä eikä purkutöitä. ABB:n tekemästä budjettiarviosta löytyy myös mainittuna ainoastaan sähköasennustyöt.

Kummatkin budjettiarviot on laadittu siten, että asemalle tulisi yksi tasasähkönsyöttö. Mikäli kuitenkin halutaan varmentaa tasasähkönsyöttö, niin YIT:n arvion mukaan kahdennetun TSK:n hinta asennettuna on pyöristettynä 6 150 €.

YIT laati ehdotuksen myös kaukokäytön rakenteesta, josta on kaavio liitteessä 3.

Kun Karihaaraan vaihdetaan uusi kojeisto, niin kennot ovat pienempiä verrattuna nykyisiin kennoihin. Tämän vuoksi asemalle mahtuisi toiselle puolelle 13 kennoa + OKM ja toiselle puolelle 14 kennoa, aivan kuten liitteessä 2 on esitetty. Budjettiarvio on laadittu 18 kennolle eli jos lisäkennoja tarvitaan ja halutaan asentaa, niin YIT:n budjettiarvioon on merkitty asennetun lisälähtökentän hinnaksi 630 A:n kojeistoon 38 600 €.

## **8.2. Päätteet ja jatkot**

Kojeistoon tulee uusia päätteet ja jatkot, jotka jäävät Kemin Energia Oy:n uusittavaksi. Hinta-arviot ovat Kemin Energian suunnittelijan antamat arviot yhden jatkon ja päätteen asentamiselle, joiden perusteella laskin YIT:n ja ABB:n budjettiarvioihin lisäksi tulevat arviot päätteiden ja jatkojen kustannuksista, jotka on esitetty taulukossa 19.

YIT:n budjettiarviossa Kemin Energian vastuulle jää 20 kV:n lähtökaapeleiden asennus, pois lukien OKM:n lähtökaapelointi ja syöttökentän kaapelit, sekä näiden päätteet. Lähetetyssä budjettiarviokyselyssä on mainittu, että budjettiarvioon halutaan sisällyttää syötön kaapelointi, joten sen oletetaan kuuluvan myös ABB:n laskemaan arvioon. Myös OKM:n päätteet oletetaan tulevan uuden omakäyttömuuntajan asennuksessa, eli päätteitä

tarvitaan 15 kappaletta, ja näihin kuuluvat myös varalle jäävät kennot, mutta kennoista jää pois syöttökennon lisäksi mittauskenno. Eli päätteiden kustannukset olisivat yhteensä 7 650 €. Jatkoja tarvitaan 14 kappaletta joihin lisäksi tulee maadoitustarvikepaketti ja maasulun kompensointi kennoon ei tarvita tätä maadoitustarvikepakettia eli sinne asennetaan vain jatko. Jatkojen hinnaksi tulee yhteensä 27 200 €. Jatkojen ja päätteiden kokonaiskustannukset, jotka on laskettu lisäksi YIT:n ja ABB:n budjettiarviioon, ovat yhteensä 34 850 €.

### 8.3. 20kV kojeiston ja apulaitteiden kustannusarvio

Alapuolella olevassa taulukossa 19 on laskettuna yhteen 20 kV:n kojeiston, apulaitteiden ja asennusten, päätteiden ja jatkojen sekä rakennuksen korjauksien yhteenlaskettu kustannusarvio. Kustannusarviosta on jätetty pois 110 kV:n kytkinkentän laitteet, koska niitä ei tulla uusimaan lähivuosina. ABB:n hinta-arvio asennuksista on jaettu puoliksi jotta saadaan hinta kojeiston ja apulaitteiden asennuskustannuksista, ja YIT:n asennuskustannusarvio on saatu suoraan budjettiarviosta. Kustannusarvioon on otettu huomioon vielä lisäksi rakennuksen vaatimista korjaustöistä aiheutuvat kustannukset, joiden hinta-arvio on saatu kuntotarkastusraportin yhteydessä.

**Taulukko 19 Kustannusarvio 20 kV:n kojeistolle ja apulaitteille /19/ /38/**

	<b>ABB (alv 0%)</b>	<b>YIT (alv 0%)</b>
20kV kojeisto ja apulaitteet	708 000 €	678 845€
Asennukset	107 000 €	62 329€
Päätteet ja jatkot	34 850€	34 850€
Rakennuksen korjaus	47 400€	47 400€
<b>Yhteensä:</b>	<b>897 250€</b>	<b>823 424€</b>

## 8.4. Uuden sähköaseman kustannusarvio

Kemin Energia haluaa tietää, mikä on vaihtoehtoisesti kustannusarvio kokonaan uudelle sähköasemalle rakennuksineen ja laitteineen. Energiamarkkinavirasto (Emv) on laatinut listauksen sähkönjakeluverkon komponenttien yksikköhinnoista vuodelle 2012 (lähde 16), minkä perusteella on määritelty taulukossa 20 olevat hinta-arviot.

Sähköasemarakennuksen hintaan sisältyy omakäyttömuuntaja, omakäyttökeskus ja tasasähkökeskus syöttökaapeleineen, akustot ja varaajat, UPS-laitteistot, kaapelihyllyt ja reitit rakennuksessa sekä apusähkölähtöjen ja omakäytön varayhteyden kaapeloinnit. Sähköasemarakennuksen hintaan kuuluvat myös matkakulut sekä työt ja koestukset laitteille. /33/

Käytönvalvontajärjestelmän hinta pitää sisällään sähköasemakohtaiset lisäosat käytöntukijärjestelmään, käytönvalvontajärjestelmään sekä käytönvalvontajärjestelmän viestiverkot. /33/

20 kV:n kojeiston hintaan sisältyy kaikki tarpeelliset komponentit suojaus- ja automaatiolaitteistoineen. Hintaan sisältyy myös matkakulut, työt ja koestukset. /33/

Päätteiden ja jatkojen hintaan sisältyy päätteet 15 kennoon ja jatkot 14 kennoon. Kustannusarvioon ei ole otettu huomioon tarvittavien kaapelien aiheuttamia kustannuksia.

### Taulukko 20 Uuden sähköaseman kokonaiskustannusarvio /16/ /33/

Komponentti	Hinta
sähköasemarakennus	234 890€
Käytönvalvontajärjestelmä	15 660€
20kV kojeisto ja apulaitteet	609 330€
päätteet ja jatkot	47 400€
<b>yhteensä:</b>	<b>907 280€</b>

## 9. TYÖSUUNNITELMA

Työn toteutus riippuu siitä, päätetäänkö olemassa oleva rakennus säilyttää ja vaihtaa sinne uudet kojeistot ja laitteet vai, tehdäänkö viereen kokonaan uusi sähköasemarakennus laitteineen. Seuraavaksi on hieman selitetty työsuunnitelmaa kummallekin vaihtoehdolle.

### 9.1. Vaihtoehto 1: Kojeariston ja laitteiden uusinta

Kun Karihaaran kytkinasemalla alkavat uudistamistyöt, on tarvetta tehdä sellaiset jännitejärjestelyt, joilla saadaan Karihaaran kytkinasema kokonaan jännitteettömäksi, eli tuolloin Karihaaran aseman syöttämät alueet syötetään muiden mahdollisten syöttöreittien kautta.

Toisena vaihtoehtona harkittiin, että työ tehtäisiin siten, että osa kennoista olisi käytössä. Tästä vaihtoehdosta kuitenkin luovuttiin, sillä olisi aikaa vievää selvittää, miten suojaukset ja muut kytkennät on toteutettu, jotta suojaukset toimisivat myös kojeiston uusimisen aikana aina niissä kennoissa, jotka ovat käytössä.

Työn tekeminen suoritettaisiin kesäaikaan, jolloin kulutus on pienimmillään. Kesällä koko Kemin Energian alueen tehot ovat suurimmillaan 20 MW, joten verkko pystyy toimimaan varmasti ilman karihaaran kytkinasemaakin.

Kemin Energialla on uusi varayhteys Keminmaasta, mistä voidaan saada 130 A virtaa eli noin 4,5 MW, jolla pystyttäisiin kesäaikana hyvin huolehtimaan Karihaaran aseman pohjoispuolta syöttävien alueiden sähkönjakelusta. Isohaaralta on myös mahdollisuus saada parhaimmillaan 265 A eli 9 MW tehoja, joka riittäisi jo yksinään syöttämään melkein koko Karihaaran kytkinaseman syöttämät alueet. Sähkönjakelu voidaan hoitaa myös syväkankaan sähköasemalta päin, käyttäen hyväksi Kauppatorin ja Pirtin kytkinasemia, sekä kytkinasemaa 226.

On siis olemassa muutamia vaihtoehtoja, miten sähkönjakelu voidaan toteuttaa, kun Karihaaran kytkinasema ei ole käytössä. Kytkentöjä on testailtu verkkotietojärjestelmä



Xpoweri DMS:n avulla. Kyseisellä ohjelmalla pystyisi myös tarkastelemaan virta-arvoja eri kytkennöillä käyttämällä tehonjako laskentaa tietyllä aikavälillä, mutta laskelmia en valitettavasti pystynyt suorittamaan, koska Xpower ohjelmassa olevat kulutustiedot olivat väärin ja niitä ei ehditty päivittämään siten, että olisin voinut hyödyntää niitä opinnäytetyössäni.

## **9.2. Vaihtoehto 2: Täysin uusi sähköasema**

Vaihtoehtoisesti saneeraus voitaisiin toteuttaa rakentamalla kokonaan uusi sähköasema rakennuksineen ja laitteineen. Tällöin työntoteutus olisi ehkä hieman helpompaa, mutta jonkin verran kalliimpaa. Hintaero ei silti ole suuri, joten tämä on aivan varteenotettava vaihtoehto.

Uusi sähköasema pystyttäisiin todennäköisesti rakentamaan vanhan aseman viereen. Nykyinen asema voitaisiin pitää toiminnassa uutta asemaa rakentaessa, joten verkossa ei tarvitsisi suorittaa kytkentämuutoksia. Sen jälkeen kun rakennus on saatu valmiiksi sekä kojeistot ja laitteet on saatu asennettua sisälle, niin voitaisiin syötöt siirtää vähitellen uudelle asemalle eli asema voitaisiin käyttöönottaa asteittain

## **9.3. Työturvallisuus**

Karihaaran kytkinaseman saneerauksen toteutus ja työvaiheessa työt on suoritettava turvallisesti ja vaaraa aiheuttamatta. Töiden aikana on noudatettava työturvallisuutta koskevia määräyksiä ja standardeja.

SFS 6002 käsikirjan mukaan työturvallisuudesta annettuja ja henkilöiden vastuuta koskevia vaatimuksia on annettu Suomessa voimassa olevissa säädöksissä, joita ovat muun muassa: /34/

- työturvallisuuslaki
- työsopimuslaki
- valtioneuvoston päätös rakennustyön turvallisuudesta

- valtioneuvoston päätös työssä käytettävien koneiden ja muiden työvälineiden hankinnasta, turvallisesta käytöstä ja tarkastamisesta
- sosiaali- ja terveysministeriön asetus nuorille työntekijöille vaarallisten töiden esimerkkiluettelosta
- valtioneuvoston asetus räjähdyskelpoisten ilmaseosten työntekijöille aiheuttaman vaaran torjunnasta /34/

Erityisesti sähköalan töiden turvallisuutta koskevia vaatimuksia on annettu seuraavissa säädöksissä:

- sähköturvallisuuslaki
- sähköturvallisuusasetus kauppa- ja teollisuusministeriön päätös sähköalan töistä ja muutos. /34/

**10. YHTEENVETO** Työn tavoitteena oli tutkia Kemin Energia Oy:n Karihaarassa sijaitsevan sähköaseman rakennuksen ja sen sisältämän kojeiston ja laitteiden kuntoa.

Laitteiden iän ja kunnan tarkastelun sekä rakennuksesta teetetyt kuntoarvion perusteella on saatu laadittua saneerausehdotus ja kustannusarviot.

Saneerauksen toteutukselle on ehdotettu kahta vaihtoehtoa, ja myös kustannusarviot on laadittu kummallekin toteutustavalle. Sähköaseman uusinta voidaan suorittaa siten, että säilytetään vanha rakennus ja tehdään sille kuntotarkastuksessa havaitut korjaustarpeet. Rakennuksen sisältämät 20 kV:n kojeisto ja muut apulaitteet uusittaisiin kokonaan. Vaihtoehtoisesti sähköasema voitaisiin uusita täydellisesti rakennuksineen ja laitteineen, jolloin voitaisiin tilata kokonainen sähköasema paketti. Kustannusarvioista voidaan havaita, että hinta erot ovat suhteellisen pienet näiden kahden vaihtoehdon välillä. Yllätyksekseni ABB:n tekemä kustannusarvio ainoastaan kojeiston ja laitteiden uusimisesta on jopa muutaman tuhat euroa kalliimpi kuin emv:n hintojen perusteella tehty arvio kokonaan uudesta sähköasemasta. YIT:n kustannusarvio on puolestaan hieman yli 70 000 € halvempi kuin kokonaan uusi sähköasema.

Työssä tutkittiin myös 110 kV:n kytkinkentän kuntoa ja sen laitteita, sekä pyydettiin kustannusarvio kytkinkentän laitteiden uusimisesta. Laitteilla on kuitenkin käyttöikä jäljellä keskimäärin 10 vuotta, joten niiden uusiminen ei ole nyt ajankohtaista, minkä vuoksi niiden kustannusarvio on vain mainittu työssä. Laitteille on kuitenkin syytä tehdä lähiaikoina työssä mainitut ja niille suositellut huollot. Karihaarassa oleva 25 MVA:n muuntaja on otettu käyttöön vuonna 1996, joten myöskään sen uusimiselle ei ole mitään syytä.

Opinnäytetyöprosessin aikana olen saanut kartutettua huomattavasti tietouttani sähköasemista ja sähköjakelusta. Olen päässyt myös tutustumaan tarkemmin sähköaseman toimintaan sekä sen sisältämien laitteiden ja laitteistojen toimintoihin ja käyttötarkoituksiin. Työssä jouduin myös olemaan yhteydessä ulkopuolisiin yrityksiin, joka on kasvattanut hieman enemmän rohkeutta. Tulevaisuudessa on helpompaa ja luontevampaa tehdä yhteistyötä ulkopuolisten tekijöiden kanssa.

Opinnäytetyön aihe oli mielestäni suhteellisen laaja, tarpeeksi haastava, todella mielenkiintoinen ja täysin omaa alaani vastaava. Mitään suurempia vastoinkäymisiä ei opinnäytetyöprosessin aikana tullut vastaan ja sain työni valmiiksi aikataulun mukaisesti.

## 11. LÄHDELUETTELO

- /1/ ABB Oy, HD4 Gas Insulated MV Circuit-breakers, [WWW-dokumentti]  
[[http://www05.abb.com/global/scot/scot235.nsf/veritydisplay/c46439d920f9817cc12575680050cc97/\\$file/CA\\_HD4%28EN%29M\\_1VCP000004-0901a.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot235.nsf/veritydisplay/c46439d920f9817cc12575680050cc97/$file/CA_HD4%28EN%29M_1VCP000004-0901a.pdf)] 18.1.2012
- /2/ ABB Oy, Outdoor Instrument transformers, [WWW-dokumentti]  
[[http://www05.abb.com/global/scot/scot245.nsf/veritydisplay/f68082d3df604988c125742b004e2613/\\$file/buyers%20guide%20outdoor%20instrument%20transformers%20ed%205%20en.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot245.nsf/veritydisplay/f68082d3df604988c125742b004e2613/$file/buyers%20guide%20outdoor%20instrument%20transformers%20ed%205%20en.pdf)] 18.1.2012
- /3/ ABB Oy, TTT-käsikirja 2000-07, 10.Mittaus-, ohjaus- ja suojalaitteistot, [WWW-dokumentti] [[http://heikki.pp.fi/abb/101\\_0007.pdf](http://heikki.pp.fi/abb/101_0007.pdf)], 15.3.2012
- /4/ ABB Oy, TTT-käsikirja 2000-07, 15:Sähköjako- ja automaatio, [WWW-dokumentti] [[http://heikki.pp.fi/abb/101\\_0007.pdf](http://heikki.pp.fi/abb/101_0007.pdf)], 28.3.2012
- /5/ ABB Oy, TTT-käsikirja 2000-07, 7.oikosulkusuojaus, [WWW-dokumentti],  
[[http://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/07\\_1\\_Oikosulkusuojaus%20ja%20sulakkeet.pdf](http://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/07_1_Oikosulkusuojaus%20ja%20sulakkeet.pdf)] 21.3.2012
- /6/ ABB Oy, TTT-käsikirja 2000-07, 8.Maasulkusuojaus, [WWW-dokumentti],  
[[http://heikki.pp.fi/abb/080\\_0007.pdf](http://heikki.pp.fi/abb/080_0007.pdf)], 23.3.2012
- /7/ ABB Oy, TTT-käsikirja, 13. Sähköasemat, kojeistot ja muuntamot, [WWW-dokumentti],  
[[http://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/13\\_S%84hk%94asemat-kojaistot-muuntamot.pdf](http://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/13_S%84hk%94asemat-kojaistot-muuntamot.pdf)], 18.4.2012
- /8/ ABB Oy, VD4 Medium voltage vacuum circuit-breakers, [WWW-dokumentti]  
[[http://www05.abb.com/global/scot/scot235.nsf/veritydisplay/c6a74744e50cae28c125783200572b63/\\$file/CA\\_VD4-50kA%28EN%29R\\_1VCP000001-1101a.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot235.nsf/veritydisplay/c6a74744e50cae28c125783200572b63/$file/CA_VD4-50kA%28EN%29R_1VCP000001-1101a.pdf)] 19.1.2012

- /9/ ASEA, Jännitemuuntajien EMFC kuljetus, asennus ja huolto-ohje, 1.painos,
- /10/ ASEA, Virtamuuntajien IMBD ja IMBE kuljetus, asennus ja huolto-ohje, 1.painos,
- /11/ Aura, Lauri, Tonteri, Antti, Sähkölaitostekniikka, Wsoy, 1.painos, 1993
- /12/ D1- käsikirja rakennusten sähköasennuksista, Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry, 1.painos, 2009
- /13/ Elovaara, Jarmo, Haarla, Liisa, Sähköverkot I, Otatiето, 1.painos, 2011
- /14/ Elovaara, Jarmo, Haarla, Liisa, Sähköverkot II, Otatiето, 1.painos, 2011
- /15/ Elovaara, Jarmo, Laiho, Yrjö, Sähkölaitostekniikan perusteet, Otatiето, 6.painos, 2007
- /16/ Energiamarkkinavirasto, sähkönjakeluverkon komponenttien yksikköhinnat 2012, [WWW-dokumentti]  
[\[http://www.energiamarkkinavirasto.fi/data.asp?articleid=2759&pgid=195 \]](http://www.energiamarkkinavirasto.fi/data.asp?articleid=2759&pgid=195),  
12.4.2012
- /17/ Hannu, Honkakoski, Sähköpostikysely Karihaaran laitteista, ABB Oy, 23.1.2012
- /18/ Helsingin Energia, SF<sub>6</sub> Kaasu, [WWW-dokumentti],  
[\[http://www.helen.fi/energia/sf6kaasu.html \]](http://www.helen.fi/energia/sf6kaasu.html), 18.4.2012
- /19/ Honkaniemi, Kimmo, Budjettitarjous SSS05652\_1, YIT Teollisuus Oy, 5.4.2012
- /20/ Huhtanen, Ulla, sähköposti kysely taustaverkon vikavirroista, Fingrid Oyj, 23.2 - 28.3.2012
- /21/ IEC60909, Short circuits in 3-phase a.c systems, International electrotechnical commission.

- /22/ Kemin Energia Oy, historia, [WWW-dokumentti],  
[[http://www.keminenergia.fi/kemin\\_energia/historia](http://www.keminenergia.fi/kemin_energia/historia)] 13.4.2012
- /23/ Keränen, Arvo, Karihaaran kytkinaseman 110/20kV laitetilän rakennusteknillinen  
kuntotarkastus- raportti, Rakennustoimisto Arvo. K. Keränen, Tornio, 8.3.2012
- /24/ Korpinen Leena, 9.Muuntajat ja sähkölaitteet, [WWW-dokumentti] [  
[http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt\\_opus/9muuntajat\\_ja\\_sahkolaitteet.pdf](http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt_opus/9muuntajat_ja_sahkolaitteet.pdf)] ]  
20.3.2012
- /25/ Korpinen, Leena, vikatilanteet, [WWW-dokumentti]  
[<http://www.leenakorpinen.fi/archive/sahkoverkko/vikatilanteet.pdf>] ] 30.1.2012
- /26/ Lakervi, Erkki, Partanen Jarmo, Sähkönjakeluteknikka, Otatieto, 2008
- /27/ Lappeenrannan teknillisen yliopiston opiskelu- ja opetusportaali Noppa, kurssi  
BL20A0700 Sähköverkkotekniikan peruskurssi, luennot sähköturvallisuus ja kojeet,  
[WWW-dokumentti] [<https://noppa.lut.fi/noppa/opintojakso/bl20a0700/luennot>] ]  
14.3.2012
- /28/ Lappeenrannan teknillisen yliopiston opiskelu- ja opetusportaali Noppa, kurssi S-  
18.3153 Sähkön jakelu ja markkinat, luento 7, [WWW-dokumentti],  
[<https://noppa.aalto.fi/noppa/kurssi/s-18.3153/luennot>, 23.3.2012
- /29/ Malvalehto, Tarmo, Syväkankaan 110/20kV muuntoaseman hankintaohjelma, Kemin  
Energia Oy, 26.11.2008
- /30/ Martimo, Antero, Oikosulkuvirrat ja niiden laskenta, kurssimateriaali, 11.1.2012
- /31/ Netcontrol Oy, [WWW-dokumentti] [<http://www.netcontrol.fi>] ] 29.2.2012
- /32/ Nikkari, Jaana, Uusi elämä muuntajalle, Power&Automation, 3/2009, 2009, (s.7-9)

- /33/ Pahkala, Simola, Varjoranta, Empower ja energiamarkkinavirasto, Eräiden verkkokomponenttien yksikköhintojen määrittely, [WWW-dokumentti], [\[http://www.energiamarkkinavirasto.fi/files/Empower\\_loppuraportti\\_20070228.pdf\]](http://www.energiamarkkinavirasto.fi/files/Empower_loppuraportti_20070228.pdf)  
12.4.2012
- /34/ SFS 600 Pienjännitesähköasennukset ja sähkötyöturvallisuus, 1.painos, Suomen Standardisoimisliitto SFS ry, 2007
- /35/ SFS 601 Suurjännitesähköasennukset ja ilmajohdot, 1.painos, Suomen Standardisoimisliitto SFS ry, 2009
- /36/ Slocon Oy, Procol 240 asennus- ja käyttöohje, kaukokäyttökurssi materiaali, 1985
- /37/ Vedenjuoksu, Timo, relesuojauksen peruseräkkeet, ABB Oy SA-tuotteet, 2006
- /38/ Välimaa, Pertti, Budjettitarjous QB30032012\_1, ABB Oy, 29.3.2012



## 12. LIITELUETTELO

- Liite 1 Karihaaran sähköaseman pääkaavio
- Liite 2 Karihaaran sähköaseman layout
- Liite 3 YIT:n ehdotus kaukokäytön rakenteesta