
Joni Tuominen

Muuntamoiden rakentaminen ja kunnossapito

Kiinteistömuuntamot

Metropolia Ammattikorkeakoulu
Insinööri (AMK)
Talotekniikan koulutusohjelma
Insinööriyö
7.6.2011

Tekijä(t) Otsikko	Joni Tuominen Muuntamoiden rakentaminen ja kunnossapito Kiinteistömuuntamot
Sivumäärä Aika	98 sivua + 1 liitettä 7.6.2011
Tutkinto	insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	talotekniikan koulutusohjelma
Suuntautumisvaihtoehto	rakennusten sähkötekniikka
Ohjaaja Ohjaava opettaja	projektipäällikkö Juhani Helaste yliopettaja Torsti Viilo
<p>Tämän insinöörityön tarkoituksena oli perehtyä kiinteistömuuntamoiden rakentamiseen ja kunnossapitoon sähköurakoitsijan näkökulmasta. Työn tarkoituksena oli kerätä kiinteistömuuntamon rakentamista koskevia määräyksiä ja ohjeita. Työssä tarkasteltiin myös yleisellä tasolla muuntamoiden rakentamisessa mukana olevien osapuolien tehtäviä ja vastuita.</p> <p>Työssä käsiteltiin muuntamotiloja sekä sen tärkeimpiä laitteita. Lisäksi selvitin muuntamoille luonteenomaisia erityispiirteitä ja kävin läpi tarkastus- ja kunnossapito käytäntöjä. Lopussa esittelin kolmen käytännön esimerkin avulla, minkälaisia tilanteita voi tulla vastaan.</p> <p>Opinnäytetyön tuloksena syntyi hyvä työkalu ja yleisohje muuntamoiden rakentamiseen urakoitsijan näkökulmasta. Pyrkimyksenä on luoda projektin hoitoa tukeva käytännön työkalu, josta on hyötyä Amplit Oy:n projekti-insinööreille ja -päälliköille. Koen, että tämän insinöörityön tekeminen on ollut hyödyllistä myös itselleni, sillä tavoitteenani on jatkossa työskennellä muuntamoiden parissa. Tämä työ on antanut siihen hyvät perustiedon.</p>	
Avainsanat	muuntamo, muuntaja, muuntamon rakentaminen ja kunnossapito

Author(s) Title Number of Pages Date	Joni Tuominen Assembly and maintenance of transformer substations Indoor transformer substations 98 pages + 1 appendices 7 June 2011
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Specialisation option	Electrical Engineering for Building Services
Instructor Supervisor	Juhani Helaste, Project Manager Torsti Viilo, Principal Lecturer
<p>The purpose of this bachelor's thesis was to get familiar with the assembly and maintenance of transformer substations from a contractors perspective. The meaning was to gather together instructions and regulations on the assembly of transformer substations. The roles and responsibilities of different parties in the assembly of transformer substations were also examined in this thesis.</p> <p>Transformer substation facilities and their most important equipment were introduced in the thesis. Furthermore, the special features of transformer substations, as well as inspection and maintenance procedures were discussed. Finally, three practical cases were described to demonstrate practical situations involving transformer substations.</p> <p>The result of the bachelor's thesis is a good tool and a handbook when assembling a transformer substation. It is meant to be used by project engineers in practical work.</p>	
Keywords	transformer substation, transformer, assembly and maintenance transformer substation

Alkusanat

Tämä insinööri työ tehtiin Amplit Oy:lle ja Metropolia ammattikorkeakoulun talotekniikan koulutusohjelmalle. Työn ohjaajana toimi projektipäällikkö Juhani Helaste ja ohjaavana opettajana yliopettaja Torsti Viilo. Haluan kiittää heitä molempia saamastani opastuksesta ja arvokkaista neuvoista.

Lisäksi haluan kiittää erityisesti vaimoani ja lapsiani, jotka ovat kärsivällisesti jaksaneet kannustaa minua. Ilman heidän tukeaan tämän insinööri työn tekeminen ei olisi onnistunut.

Helsingissä 7.6.2011

Joni Tuominen

Alkusanat

Tiivistelmä

Abstract

Sisällys

1 Johdanto	1
2 Lait, asetukset ja ohjeet	2
3 Osapuolien tehtävät ja vastuut	4
3.1 Suunnittelun toimenpiteet	4
3.2 Toimenpiteet rakennusvaiheessa	6
3.2.1 Sähköliittymä	6
3.2.2 Muuntamon laitteet	8
3.2.2 Muita urakoitsijan selvitettäviä asioita	9
4 Sähköasemat ja niiden suunnittelu	10
4.1 Yleistä	10
4.2 Asennuksia koskevat yleiset vaatimukset	10
4.3 Jännitekestoisuus	11
4.4 Standardien mukainen jännitetestaus	12
4.5 Virtakestoisuus	14
4.6 Muita yleisiä vaatimuksia	16
4.7 Oikosulkuvoimat	16
5 Jakelumuuntamot	17
5.1 Yleistä	17
5.2 Muuntamoiden käyttö	17
5.3 Kiinteistömuuntamot	18
6 Muuntamotilat	19
6.1 Rakennustekniset vaatimukset	19
6.2 Palotekniset vaatimukset	22
6.4 Tilantarve	23
6.5 Ilmanvaihto	24
6.6 Valokaari ja sen vaikutukset	26
6.6.1 Yleistä	26
6.6.2 Valokaaren ympäristövaikutukset	27
6.6.3 Rakenteiden ylipainekestoisuus	27
6.6.4 Valokaaren vaikutusten torjuminen	28
6.7 Muuntamon varusteet ja merkinnät	29
6.7.1 Muuntamon varusteet ja työvälineet	29
6.7.2 Muuntamon merkinnät	31
6.7.3 Muuntamon dokumentit	33
7 Keskijännitekojeistot	34
7.1 Yleistä	34
7.2 Kokoojakiskosto	35
7.2.1 Kokoojakiskostojärjestelmät	35
7.2.2 Kiskoston rakenne	35
7.3 Erottimet	36
7.3.1 Yleistä	36
7.3.2 Kuormanerotin	37
7.3.3 Varokekuormanerotin	38

7.3.4 Maadoituserotin	38
7.4 Katkaisijat	38
7.4.1 Yleistä	38
7.4.2 Katkaisutapahtuman kulku	39
7.4.3 Katkaisijan ominaisarvot ja valintakriteerit	40
7.5 Katkaisijatyypit	41
7.5.1 SF6-katkaisijat	41
7.5.2 Vähäöljykatkaisija	44
7.5.3 Tyhjökatkaisijat	45
7.6 Mittamuuntajat	47
7.6.1 Yleistä	47
7.6.2 Virtamuuntajien ominaisuudet	49
7.6.3 Huomioita virtamuuntajien käytöstä	50
7.6.4 Jännitemuuntajien ominaisuudet	50
7.6.5 Huomioita jännitemuuntajien käytöstä	51
7.6.6 Jännitemuuntajan kippivärähtely eli ferresonanssi	52
7.7 Ylijännitesuojaus	53
7.7.1 Yleistä	53
7.7.2 Ylijännitteiden luokittelu	54
7.7.3 Venttiilisuojat	54
7.8 Relesuojaus	57
7.8.1 yleistä	57
7.8.2 Suojauksen selektiivisyys	58
7.8.3 Releet ja niiden tehtävät	58
7.8.4 Relesuojauksen rakenneosat	60
8 Muuntajat	62
8.1 Yleistä	62
8.2 Muuntajien rakenne ja ominaisuudet	62
8.3 Muuntajien rinnankäyttö	66
8.4 Muuntajien lämpeneminen ja sen jäähtytys	66
8.5 Muuntajan tyhjäkäyntivirran yliaallot	67
8.6 Muuntajan tertiäärikäämitys	67
8.7 Sarjasäätömuuntajat	68
8.8 Muuntajan hankinnassa huomioitavia seikkoja	69
9 Maadoitukset	70
9.1 Yleistä	70
9.2 Muuntamon maadoitukset	70
9.3 Suur- ja pienjännitejärjestelmien yhteinen maadoitus	71
9.4 Kaapeliverkkoon liitetty sähkönkäyttäjän muuntamo	71
9.5 Maadoituksen mitoitus	74
9.5.1 Elektrodin mitoitus	74
9.5.2 Elektrodin rakenne	75
9.5.3 Maadoitusjohtimen mitoitus	75
10 Muuntamon sähkömagneettiset häiriöt	76
10.1 Yleistä	76
10.2 Magneettikentän arviointi ja mittaaminen	77
11 Muuntamon käyttöönotto	79
11.1 Tarkastukset	79
11.2 Mittaukset	79
11.3 Ilmoitus rekisteriin	80

11.4 Käytönjohtajan nimeäminen	80
12 Työt toiminnassa olevassa muuntamossa	81
12.1 Käyttötoimenpiteet	81
12.2 kohteen jännitteettömäksi tekeminen	81
13 Muuntamoiden kunnonvalvonta	84
13.1 Yleistä	84
13.2 Muuntajat	84
13.3 Katkaisijat	85
13.4 Ylijännitesuojat	86
13.5 Eristimet	86
13.6 Lämpökuvaus	86
14 Käytännön esimerkkejä	88
14.1 Lähtökohdat muuntamon saneerauksessa	88
14.1.1 Kohteen kuvaus	88
14.1.2 Toiminnan tavoitteet	88
14.1.3 Havaitut ongelmakohdat	88
14.1.4 Ongelman ratkaisu	89
14.2 Esimerkki muuntajanvaihtotyön yhteydessä havaitusta ongelmasta	91
14.2.1 Työn lähtökohdat	91
14.2.3 Ongelman ratkaisu	93
14.3 Lämpökuvaus esimerkki	94
14.3.1 Tehtävän määrittely	94
14.3.2 Mittauksien tekeminen	94
14.3.3 Mittaustuloksien tulkinta	95
15 Yhteenveto	96
Lähteet	97
Liitteet	
Liite 1. Keski-jänniteliittyjän muuntamon maadoituskaavio	

1 Johdanto

Tämä insinöörityö käsittelee kiinteistömuuntamoiden rakentamista sähköurakoitsijan näkökulmasta. Työ tehdään työnantajalleni Amplit Oy:lle, ja ohjaajana toimii projekti-päällikkö Juhani Helaste. Amplit Oy on vaativien kohteiden urakoitsija, jonka toiminta kattaa koko talotekniikka-alueen (LVIS). Yritys on perustettu vuonna 1987, ja sen toiminnan pääpaino on pääkaupunkiseudulla.

Aluksi tässä työssä perehdytään muuntamoita koskeviin lakeihin ja määräyksiin. Muuntamoiden rakentamisessa mukana olevien eri osapuolien tehtävät ja vastuualueet käydään läpi yleisellä tasolla. Työssä käsitellään muuntamotiloja ja niille asetettuja vaatimuksia sekä käydään läpi muuntamon tärkeimmät laitteet. Lisäksi työn tarkoituksena on selvittää muuntamoiden rakentamiselle luonteenomaisia erityispiirteitä sekä käydä läpi tarkastus- ja kunnossapitokäytäntöjä. Lopuksi vielä käydään läpi käytännön todellisten esimerkkien kautta, kuinka teoriaosiossa esitettyjä asioita sovelletaan käytännössä.

Työn tuloksena on tarkoitus syntyä yleisohje muuntamoiden rakentamisesta urakoitsijan näkökulmasta. Pyrkimyksenä on luoda projektinhoitoa tukeva ja helpottava työkalu, jota Amplit Oy:n projekti-insinöörit ja päälliköt voivat hyödyntää tulevissa muuntamourakoissa.

2 Lait, asetukset ja ohjeet

Suomessa sähköalaa säädellään monin eri tavoin. Säädöskokoelmassa on julkaistu yhteensä yli 100 eritasoista sähköalaa koskevaa lakia, asetusta ja valtioneuvoston tai eri ministeriöiden päätöstä. Ylimpänä pätevyysjärjestyksessä on laki ja seuraavana hierarkiassa tulevat asetukset. Kolmantena järjestyksessä ovat eri ministeriöiden antamat päätökset. Etenkin kauppa- ja teollisuusministeriö, nykyisin työ- ja elinkeinoministeriö, on antanut sähköalaa koskevia päätöksiä. Tämän insinööriyön aiheeseen liittyviä lakeja, asetuksia ja päätöksiä ovat muun muassa seuraavat:

- Sähköturvallisuuslaki (410/1996, muutokset 634/1999, 893/2001, 913/2002, 220/2004, 1465/2007, 1072/2010)
- Sähköturvallisuusasetus (498/1996, muutokset 323/2004, 402/2008)
- Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös, Sähköalan työt (516/1996, muutokset 1194/1999, 28/2003, 1253/2003, 351/2010)
- Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös, Sähkölaitteistojen käyttöönotto ja käyttö (517/1996, muutokset 30/2003, 335/2004)
- Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös, Sähkölaitteistojen turvallisuus (1193/1999)
- Ympäristöministeriön asetus 12.3.2002, johon perustuu E1
- E1 Suomen rakentamismääräyskokoelma: Rakennusten paloturvallisuus, määräykset ja ohjeet 2002.

Suomessa käytetään maailmanlaajuisia IEC:n ja eurooppalaisia CENELECin standardeja tai näiden pohjalta laadittuja suomalaisia SFS-standardeja. Valvovana virastona sähköalaa valvoo entinen turvatekniikan keskus, joka nykyään kantaa nimeä turvallisuus- ja kemikaalivirasto (TUKES), joka saa antaa edellä mainittujen määräyksien soveltamista yhtenäistäviä ohjeita. Ministeriöiden määrittelemät olennaiset vaatimukset voidaan täyttää, kun sovelletaan standardeja, joiden vastaavuus olennaisiin vaatimuksiin pystytään vahvistamaan.

Tällaisia standardeja, joiden vastaavuus olennaisiin vaatimuksiin on vahvistettu, ovat esimerkiksi SFS-standardit. Tämän insinööriyön tekemiseen ja sen aiheeseen olennaisesti liittyviä SFS-standardeja ovat

- SFS 6000 Pienjännitesähköasennukset
- SFS 6001 Suurjännitesähköasennukset
- SFS 6002 Sähkötyöturvallisuus.

Muita aiheeseen liittyviä ohjeita:

- Sähkötietokortti (ST 53.11) Kaapeliliitännäiset sähkönkäyttäjän muuntamot.
- Rakennustietokortti (RT 92-10774) Muuntamotila rakennuksessa.

Helen Sähköverkko Oy:n julkaisemat urakoitsijaohjeet:

- Yleisohje 1.01 (2009)
- Sähköliittymä 2.01 (2009)
- Keskijännite-liittyjien muuntamot 2.02 (2009)
- Toteutus-esimerkkejä 2.02/liite 1 (2009)
- Releasettelut 2.02/liite 2 (2009)
- Standardit ja yleisohjeet (mittaus) 3.01 (2009)
- Toimintatavat 3.02 (2009)
- Hoito-ohjeet 4.04 (2009).

3 Osapuolien tehtävät ja vastuut

3.1 Suunnittelun toimenpiteet

Lähtökohtana uuden muuntamon rakentamiselle tai vanhan saneeraamiselle on usein sähköenergian kulutuksen kasvu. Muuntamon uudistaminen voi tulla kyseeseen myös silloin, kun halutaan lisätä sähkönsyötön käyttövarmuutta. Kun tarve on havaittu, on sähkösuunnittelun arvioitava heti hankkeen alkuvaiheessa kohteen vuotuinen energian tarve ja suurin tarvittava sähköteho. Kun energian tarve on arvioitu, selvitetään paikalliselta jakeluverkon haltijalta seuraavia asioita (ST 53.11, 2003):

- sähkönsiirron taksat sekä keski- että pienjännitteellä.
- kohteen liittymisehdot ja -maksut arvioidulla huipputeholla keskijännite- ja pienjänniteliittymille erikseen.
- liittymisjohtojen laji, lukumäärä, poikkipinta ja reitti.
- verkonhaltijan sähkönkäyttäjän muuntamoa koskevat ohjeet.
- kohteen nykyiset liittymät ja niistä mahdollisesti saatavat hyvitykset, mikäli niitä poistetaan.

Edellä esitettyjen tietojen perusteella sähkösuunnittelija arvio muuntamoinvestoinnin ja keskijänniteliittymän kannattavuuden. Tässä vaiheessa pitää selvittää myös mahdolliset hankkeelle asetetut lisävaatimukset. Tällaisia voivat olla esimerkiksi käyttövarmuuteen liittyvät näkökohdat. Karkeana perussääntönä voidaan pitää oletusta, että pienjänniteliittyminen tulee yleensä edullisemmaksi, kun huipputeho jää alle 500 kW:n. Kohteissa, joissa huipputeho ylittää 250 kW:n rajan, on kuitenkin syytä varmistua tapauskohtaisesti, tuleeko keskijännite- vai pienjänniteliittymän hankinta taloudellisemmaksi. Arvion pohjalta tehdyn laskelman perusteella päätetään, aloitetaanko muuntamohanke. (ST 53.11, 2003)

Kun muuntamon rakentamispäätös on tehty, sähkösuunnittelija selvittää seuraavat perustiedot:

- kuormituksen painopiste laajennukset huomioon ottaen
- muuntamon paikka
- muuntamon pääkaavio, maadoituskaavio ja mittauspiirikaavio
- keskijänniteverkon mitoitusoikosulkuvirta ja maasulkuvirta
- muuntamon sähköiset arvot
- tilantarve
- kulkureitit kojeistolle ja muuntajalle
- kulkureitit käyttöhenkilökunnalle
- sähkömittareiden sijoitus
- palotekniset vaatimukset
- ilmanvaihto
- muuntamosta aiheutuva melu ja magneettikentät.

Näiden perustietojen pohjalta sähkösuunnittelija tekee tiiviissä yhteistyössä yhdessä rakennuttajan, arkkitehdin, rakenne- ja LVI suunnittelijan kanssa muuntamoa koskevat lopulliset suunnitelmat. Valmiiden suunnitelmien pohjalta suunnittelija laatii seuraavat asiakirjat (ST 53.11 2003):

- asemapiirustus
- pääkaavio
- maadoituskaavio
- tasopiirustus 1:50 muuntamon sähköasennuksista
- rakennepiirustukset leikkauksineen
- johtotiepiirustus liittymäjohtoja varten
- sähkötyöselostus.

Suunnittelija lähettää verkonhaltijalle asemapiirustuksen, muuntamon pääkaavion, johtotiepiirustukset, maadoituskaavion, mittauspiirikaavion sekä liittymää, mittausta ja suojausta koskevat suunnitelmat. Lisäksi verkonhaltijalle toimitetaan hankkeen alustava aikataulu. Verkonhaltija tarvitsee edellä mainitut asiakirjat, jotta se voisi huolehtia keskijänniteverkon suojauksen kokonaisuudesta. Sähkömarkkinalain mukaan verkonhaltija

vastaa liittymän mittauksesta ja keskijänniteverkon suojauksen kokonaisuudesta. (ST 53.11, 2003)

3.2 Toimenpiteet rakennusvaiheessa

Urakoitsijoiden, suunnittelijoiden ja rakennuttajien toimenpiteet jakeluverkonhaltijan kanssa on tärkeää selvittää ennen sähköistämiskohteen rakennustöiden aloittamista. Olennaista on kiinnittää huomiota siihen, että tiedetään, kuka tekee ja milloin sekä missä järjestyksessä toimenpiteet suoritetaan.

3.2.1 Sähköliittymä

Jakeluverkonhaltija ja sähköverkkoon liittyjä tekevät keskenään kirjallisen liittymissopimuksen. Sopimus astuu voimaan, kun molemmat osapuolet ovat sen allekirjoituksellaan hyväksyneet. Yhdelle tontille sallitaan yleensä vain yksi liittymä ja yksittäiseen kiinteistöön ainoastaan yksi liittymä. (Sähköliittymä 2.01, 2009.)

Liittymisjohtona käytetään yleensä maakaapelia aina kun se on mahdollista. Liittymiskaapelin poikkipinta määritellään kohteessa tarvittavan huipputehon ja pääsulakkeiden mukaan. Sähkönkäyttäjän liittymisjohdon saa rakentaa sähkömarkkinalain mukaan joko paikallinen jakeluverkonhaltija tai muu sähköurakoitsija jakeluverkonhaltijan ohjeiden mukaan. Liittymiskohta on jakeluverkon ja liittyjän sähkölaitteiston välinen rajapinta eli niin sanottu omistusraja. Liittyjä omistaa liittymiskohdan jälkeisen osuuden liittymisjohdosta. Maakaapelilla liittymisraja on:

- tontin tai muun hallinnassa olevan alueen raja
- liittyjän sähkölaitteiston kaapelinpuoleiset liittimet.

Liittymiskohta sovitaan erikseen jakeluverkonhaltijan kanssa viimeistään liittymissopimuksen yhteydessä. Jakeluverkonhaltija suorittaa liittymisjohdon kytkemisen jännitteeksi. Liittymän kytkentäpäivä on sovittava verkonhaltijan kanssa hyvissä ajoin ennen kytkentää. (Sähköliittymä 2.01, 2009.)

Liittymisjohto keskijänniteliittymissä kuuluu yleensä osaksi jakeluverkonhaltijan rengasverkkoa. Paikallinen verkkoyhtiö suorittaa kaapeloinnin ja liittämisen keskijännitekojeistoon, jonka liittyjä on hankkinut. Jos tarve vaatii, on liittyjän varustettava kojeisto verkonhaltijan käyttöön tulevilla ylimääräisellä kaapelikennolla. Tällöin on verkonhaltija kuitenkin velvollinen maksamaan liittyjälle erillisen korvauksen aiheutuneista kuluista. Liittyjä kaivaa ja rakentaa tarvittavat putkitukset tontilleen verkonhaltijan ohjeiden mukaisesti. 10 kV:n ja 20 kV:n keskijänniteliittymissä käytetään yleensä kaapelina:

- AHXAMK – W $3 \times 240 \text{ mm}^2$

Kaapelin sisällä on 70 mm^2 :n Cu-johdin. Kaapelin minimi taivutussäde on 900 mm ja yhden vaiheen minimi taivutussäde on 600 mm. Kuvassa 1 on liittymiskaapeli kytketty keskijännitekojeiston liittymäkennoon. (Sähköliittymä 2.01, 2009.)



Kuva 1. Keskijänniteverkon liittymiskaapeli AHXAMK-W $3 \times 240 \text{ mm}^2$ liittymäkennossa

3.2.2 Muuntamon laitteet

Urakoitsija asentaa mittamuuntajat ennen vaadittavia tarkastuksia. Kun kojeisto-
piirustukset on hyväksytty, voidaan mittamuuntajat noutaa tilausta vastaan mittaus-
palveluiden tuottajalta. Mittamuuntajat jäävät verkonhaltijan omaisuudeksi. Urakoitsija
tekee ennen sähkölaitteiston käyttöönottoa tarvittavat mittaukset, koestukset sekä
käyttöönottotarkastuksen. Laitteistolle tulee suorittaa myös varmennustarkastus
valtuutetun tarkastajan tai tarkastuslaitoksen toimesta. Verkkoyhtiö hoitaa mittareiden
kytkemisen, kun sähkönmyynti- tai verkkosopimus on tehty, muuntamo on tarkastettu
ja käyttöönottotarkastukset on suoritettu. (Keskijänniteliittyjän muuntamot, 2.02,
2009.)

Jakeluverkkoyhtiö tai sen verkostourakoitsija vetää liittymiskaapelit liittymiskennoihin ja
kytkee ne kennon liittimiin. Kytkentäaika pitää sopia hyvissä ajoin ennen haluttua
kytkentäajankohtaa. Laitteiston pitää olla käyttövalmiudessa, kun verkonhaltija tulee
suorittamaan liittymän kytkemistä sovittuna ajankohtana. Sähkölaitteiston käytön-
johtaja vastaa jännitteen kytkemisestä pääkatkaisijasta tai päävarokekytkimestä
eteenpäin. (Keskijänniteliittyjän muuntamot, 2.02, 2009.)

Pääkaupunkiseudulla on keskijänniteverkossa yleisesti käytössä joko 10 kV:n tai 20
kV:n jakelujännite. Uusien ja saneerattavien muuntamokohteiden sähkötekniinen
mitoitus on esitetty taulukossa 1. Käytössä olevien 20 kV:n kojeistojen ja
työmaadoitusvälineiden mitoitus on riittävä, kun se on vähintään 16 kA:n (1s).
Muuntamoiden kaapelien pitää olla myös oikosulkukestoisia. (Keskijänniteliittyjän
muuntamot, 2.02, 2009.)

Taulukko 1. Uusien ja saneerattavien kojeistojen mitoitus

<i>Nimellisjännite / kV</i>	<i>20</i>	<i>10</i>
<i>Pääkytkinlaitteen katkaisukyky / kA</i>	<i>16</i>	<i>20</i>
<i>Terminen oikosulkukestoisuus / kA(1s)</i>	<i>16</i>	<i>20</i>
<i>Dynaaminen oikosulkukestoisuus / kA</i>	<i>40</i>	<i>50</i>
<i>Liittymiskennojen ja kuormanerotin ja kiskojen nimellisvirta / A</i>	<i>630</i>	<i>630</i>

Ennen pääkatkaisijan suojausvirtamuuntajaa kaapelien minimi poikkipinta on sama kuin verkkokaapelin poikkipinta. Suojausvirtamuuntajan jälkeen käytettävien kaapelien minimi poikkipinnat on esitetty taulukossa 2. Suurjännitesulakkeen jälkeen kaapelien minimipoikkipinnat ovat joko $25\text{mm}^2 \text{ Cu}$ tai $35\text{mm}^2 \text{ Al}$.

Taulukko 2. Kaapelien minimi poikkipinnat suojausvirtamuuntajien jälkeen.

t_{katk}	$I_{\text{th}} (1s)$	Johdin poikkipinnat	
0,1s ¹⁾	16kA	35 Cu	50 Al
	20kA	50 Cu	70 Al
0,4s	16kA	95 Cu	120 Al
	20kA	95 Cu	150 Al

t_{katk} = Katkaisijan toiminta-aika oikosulussa

¹⁾ = Käänteisaikarele

Työturvallisuuden takia kojeistossa suositellaan käytettäväksi kiinteästi asennettuja maadoituserottimia. (Keski-jänniteliittyjän muuntamot, 2.02, 2009.)

3.2.2 Muita urakoitsijan selvitettäviä asioita

Sähköurakoitsijan on syytä kiinnittää huomiota myös toteutuksen kannalta oleellisiin asioihin. Asiat on käytävä läpi kaikkien toteutukseen liittyvien osapuolien kanssa, ettei kenellekään ole epäselvää, miten projekti viedään läpi. Toteutuksen kannalta tärkeitä selvitettäviä asioita ovat:

- työaikataulujen varmistaminen muiden toimijoiden kanssa
- laitteiden toimitusaikojen huomioiminen
- yksityiskohtaiset työohjeet
- välikaapelit ja päätteet
- releistykset
- mittauskäytännöt.

4 Sähköasemat ja niiden suunnittelu

4.1 Yleistä

Sähköasemalla tarkoitetaan sellaista laitosta, jossa voidaan tehdä kytkentöjä, muuntaa jännitettä käyttötarkoitusta vastaavaksi sekä keskittää tai jakaa sähkön siirtoa eri johtohaaroille. Sähköasema on kokonaisuus, jonka muodostaa yleensä muuntaja, kokoojakiskosto ja kojeisto. (Elovaara & Haarla 2011: 76–85.)

Nykyään kojeistot ovat lähes poikkeuksetta tehdasvalmisteisia valmiita kokonaisuuksia, jotka rakennetaan kunkin kohteen tarpeiden mukaan. Tärkeimmät laitteet sähköasemilla ovat muuntajat, katkaisijat, erottimet sekä mittamuuntajat. Lisäksi suojaustarkoituksiin käytetään releitä ja varokkeita. Ylijännitesuojauksessa käytetään suoraan laitteen rinnalle kytkettäviä venttiilisuojia tai myös kipinävälejä, kun kyseessä on pienitehoinen jakelumuuntaja. Tämän insinööriyössä pääpainotus on keskijännitekytkinlaitoksissa ja niiden rakentamiseen liittyvissä seikoissa. (Elovaara & Haarla 2011: 76–85.)

4.2 Asennuksia koskevat yleiset vaatimukset

SFS-standardi 6001 määrittää nimellisjännitteeltään yli 1 kV:n vaihtojännitteellä tapahtuvien sähköasennuksien suunnittelua ja rakentamista koskevat vaatimukset. Standardin vaatimukset koskevat uusien suurjänniteasennuksien lisäksi myös käytössä olevien asennuksien korjaus-, muutos- ja laajennustöitä. Standardin vaatimuksien taustalla on pyrkimys varmistua siitä, että yli 1000 V:n verkkojen ja laitteistojen rakenne ja toiminta ovat tarkoituksenmukaista. Lisäksi yli 1 kV:n jännitteellä sähkönkäytön pitää luonnollisesti olla myös turvallista. (Elovaara & Haarla 2011: 76–85.)

Sähköasennuksia, jotka tapahtuvat enintään 1 kV:n jännitteellä, koskevat määräykset on esitetty SFS-standardissa 6000. Alle 1 kV:lla tehtäviin sähköasennuksiin katsotaan kuuluvaksi tuotanto- ja teollisuuslaitoksien tavallisten sähköasennuksien lisäksi myös sähköasemien vastaavat sähköasennukset. Tällaisia ovat esimerkiksi

- sähköasemat ja niiden erilaiset laitteet
- johdot ja johtojärjestelmät
- laitteiden ja asennuksien käytön edellyttämät ohjauslaitteet
- maadoitusjärjestelmät
- sähkötilan ympäristöstä erottavat rakennukset ja aidat

Viranomaispäätökset sähkölaitteistojen turvallisuutta koskien on annettu kauppa- ja teollisuusministeriön päätöksessä (1193/1999): sähkölaitteistojen turvallisuus. Päätöksen mukainen Tukesin vahvistama luettelo olennaisia turvallisuusvaatimuksia vastaavista standardeista on esitetty Tukes-ohjeessa (S10-2000). Vaatimukset perustuvat yleensä erilaisiin sähkönkäytöstä syntyviin ja aiheutuviin rasituksiin. Standardeissa määritellään myös se, miten kojeiden ja laitteiden testaukset tulee suorittaa, että ne täyttävät niille asetetut vaatimukset. Sähköasemia suunniteltaessa standardin SFS-6001 keskeisimpiä kohtia ovat:

- jännitteisten osien vähimmäisetäisyydet
- suojaus suoralta ja epäsuoralta kosketukselta
- maadoitukselle asetettavat vaatimukset
- suojaus valokaaren aiheuttamilta vaaroilta
- suojautuminen tulipalolta
- apu- ja ohjausjärjestelmille asetetut vaatimukset

Mitoitusarvot yhdessä testausarvojen kanssa ovat kojeen tärkeimmät tekniset tiedot. Tavallisesti mitoitusarvot määritellään kojeiden jatkuvan normaalikäytön perusteella. Mitoitusarvoista käytetään yleensä nimitystä nimellisarvot. Testausarvojen avulla pyritään varmistamaan, että kojeen luotettava toiminta normaalikäytön lisäksi toteutuu myös poikkeuksellisissa tilanteissa. Tällaisia poikkeustilanteita ovat esimerkiksi vika- tai ylikuormitustilanteet. (Elovaara & Haarla 2011: 76–85.)

4.3 Jännitekestoisuus

Kojeisiin kohdistuvat jänniterasitukset syntyvät jatkuvasta käyttöjännitteestä ja lyhytaikaisista ylijännitteistä. *Verkon suurin käyttöjännite* määrää jatkuvan jänniterasituksen

ylärajan sähköverkossa. Tällä tarkoitetaan suurinta verkossa esiintyvää, ajasta tai paikasta riippumatonta, vaiheiden välisen jännitteen tehollisarvoa. Suurimman käyttöjännitteen lisäksi on määritelty *laitteen tai kojeiston suurin käyttöjännite* U_m . Tämä jännitearvo antaa käytännössä ylärajan verkon suurimmalle käyttöjännitteelle, joka saa enintään kohdistua laitteeseen jatkuvasti. Taulukossa 3 on esitetty Suomessa käytössä olevia U_m -arvoja sekä niitä vastaavat verkon *nimellisjännitteet* U_R . (Elovaara & Haarla 2011: 76–85.)

Taulukko 3: IEC:n mukaisia ja Suomessa sovellettavia laitteiden suurimpia käyttöjännitteitä ja niitä vastaavat nimellisjännitteet.

U_m / kV	3,6	7,2	12	24	36	52	123	245	420
U_R / kV	3	6	10	20	30	45	110	220	400

4.4 Standardien mukainen jännitetestaus

Suurjännitelaitteilta vaadittava jännitekestoisuus erilaisia ylijännitteitä vastaan mitataan jänniterasitustesteillä. Testauksen voi toteuttaa eri laajuisina kokonaisuuksina, joiden tavoitteina voivat olla esimerkiksi:

- koko lujuusjakaumakäyrän määrittäminen
- tietyn referenssipisteen määrittäminen lujuusjakaumasta
- osoittaa tietynlaisella jänniterasitus kestokokeella, että laitteen jännitelujuus täyttää sille asetetut minimivaatimukset

Määrittämällä koko jännitelujuusjakauma saadaan testin tuloksena selville sekä jännitelujuuden keskiarvo että hajonta. Koko lujuusjakaumakäyrän määrittäminen on käytännössä harvinaista, koska sen toteuttaminen vie paljon aikaa ja se tulee erittäin kalliiksi. Tietyn referenssipisteen määrittämisellä saadaan selville tiettyä referenssi ylilyönti todennäköisyyttä vastaava ylilyöntijännite. Kestokokeen suorittaminen perustuu jänniterasituksen suuruuteen ja sen kesto aikaan. Sen avulla on tarkoitus todeta, että laite on standardien mukainen. (Elovaara & Haarla 2011: 62–66.)

Niin sanottu vastaanottotestaus on käytetyistä testausmuodoista yleisin. Sen tarkoituksena on todeta yhteisesti tilaajan kanssa, että laitteet täyttävät sopimuksissa niille asetetut vaatimukset. Yleensä laiteiden teknisissä spesifikaatioissa kerrotaan miten ja millä arvoilla testaus pitää suorittaa. Vastaanottotestauksina voidaan yleensä suorittaa joko kestokoe tai referenssipisteen määrittäminen. Sen sijaan koko lujuusjakaumakäyrän määrittäminen ei yleensä tule kysymykseen kun suoritetaan vastaanottotestauksia. (Elovaara & Haarla 2011: 62–66.)

Koejännitearvoille asetetut yleiset vaatimukset on esitetty IEC-standardissa 60071. Standardissa kerrotut koejännite vaatimukset koskevat vaihtojänniteverkkoon tarkoitettuja sähkölaitteita ja niiden eristysrakenteita. Verkon ylijänniterasitukset ja ylijännitesuojien ominaisuudet toimivat perustana koejännitteiden määrittämisessä. Erilaisia standardin mukaisia jännitekokeita ovat muun muassa:

- salamasyöksyjännitetesti
- kytkentäsyöksyjännitetesti
- vaihtojännitetesti

Salamasyöksyjännitekokeessa on tarkoituksena huomioida jyrkät transienttiylijännitteet ja kytkentäsyöksyjännitetestissä pyritään huomioimaan verkossa esiintyvät loivat ylijännitteet. Vaihtojännitetestissä huomion kohteena ovat normaali jänniterasitus sekä pienitaajuiset ylijännitteet. Joskus kyseeseen voivat tulla myös loivat transienttiylijännitteet. (Elovaara & Haarla 2011: 62–66.)

Laitteiden eristystasot ilmoitetaan kahden jännitearvon avulla. Kun laitteen suurin sallittu käyttöjännite on $1kV < U_m \leq 245kV$, ilmoitetaan sen eristystaso salamasyöksyjännitteen ja yhden minuutin mittaisessa vaihtojännitekokeessa käytettävän koejännitteen avulla. Taulukossa 4 on esitetty IEC:n suosittelemat standardiarvot laitteiden vaihe – maa eristyksen koejännitteille Suomessa, kun suurin käyttöjännite on alueella $1kV < U_m \leq 245kV$. Suomessa sovelletaan alleviivattuja arvoja käytännössä. (Elovaara & Haarla 2011: 62–66.)

Taulukko 4. Standardiarvot laitteiden vaihe – maa eristyksen koejännitteille Suomessa

<i>Laitteen suurin sallittu käyttöjännite</i> U_m , (kV)	<i>Koejännite (kestotaso) salamasyöksyjännitteellä</i> (kV)	<i>Koejännite (kestotaso) vaihtojännitteellä</i> (kV)
12	60, 75	28
24	95, 125	50
52	250	95
123	450, 550	185, 230
245	850, 950, 1050	360, 395, 460

IEC – standardi 60071 antaa mahdollisuuden laatia myös laitekohtaisia standardeja, jotka voivat olla vaatimuksiltaan tiukempia. Laitteille, joiden turvallisuusnäkökohtiin on kiinnitettävä erityistä huomiota, onkin laadittu laitekohtaisia lisä standardeja, jotka edellyttävät parempaa jännitelujuustasoa. Tämän seurauksena esimerkiksi katkaisijoiden ja erottimien avausväleille vaaditaan suurempaa jännitelujuutta kuin vaiheen ja maan välille. Taulukossa 5 on esitetty vaiheen – maan väliselle eristykselle sekä avausvälin eristykselle asetetut koejännitevaatimukset. (Elovaara & Haarla 2011: 76–85.)

Taulukko 5. Vaihe - maa sekä avausvälin eristyksille asetetut koejännitearvot

U_m	<i>Salamasyöksyjännite / kV</i>		<i>Koejännite (50Hz, 1min) / kV</i>	
	<i>vaihe – maa</i>	<i>avausväli</i>	<i>vaihe – maa</i>	<i>avausväli</i>
12	60, 75	70, 85	28	32
24	95, 125	110, 145	50	60
52	250	290	95	110
123	450, 550	520, 630	185, 230	210, 265
245	850, 950, 1050	950, 1050, 1200	360, 395, 460	415, 460, 530

4.5 Virtakestoisuus

Sähkövirran laitteille ja verkkoon aiheuttamat virtarasitukset jaetaan kahteen osaan, niin kuin jänniterasituksetkin, *jatkuvaan virtarasitukseen* ja *lyhytaikaisiin virtarasituksiin*. Sähköverkkoon tai laitteeseen vaikuttava jatkuva virtarasitus muodostuu kuormitusvirrasta ajan funktiona. Lyhytaikaisia virtarasituksia syntyy tavanomaisesti vikatilanteissa. Esimerkiksi oikosulkuvirta saa aikaan rajun virrannousun, joka jää kuitenkin vain hetkelliseksi, koska suojalaitteet katkaisevat vikavirran nopeasti pois. (Elovaara & Haarla 2011: 76–85.)

Sähkökojeen *jatkuvan virtakestoisuuden* määrittävä parametri on IEC:n standardin mukaan *mitoitusvirta*. Tällä tarkoitetaan sellaista virran tehollisarvoa, jonka koje kestää jatkuvassa käytössä vikaantumatta. Lämpeneminen onkin se rajoittava tekijä, joka määrittää rajan jatkuvalla virtakestoisuudelle. Tästä johtuen, kojeistoille tehdään tietyt lämpenemiskokeet, joissa selvitetään laitteiden lämpeneminen mitoitusvirralla. Virta- teille ja niiden eristyksille on määritelty sallitut lämpötilarajat, joita ei saa lämpenemis- kokeessa ylittyä. Kojeiden lämpeneminen asettaakin rajoituksia kuormitettavuudelle, etenkin silloin, jos ne asennetaan suljettuun tilaan. IEC:n määrittelemät laitteiden mitoitusvirrat on esitetty taulukossa 6. (Elovaara & Haarla 2011: 76–85.)

Taulukko 6. IEC:n määrittelemät mitoitusvirrat tehollisarvoina

$(I_R)/A$	400	630	800	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300
-----------	-----	-----	-----	------	------	------	------	------	------	------	------

Terminen kestovirta (I_{thr}) on tekijä, joka määrittää kojeen lyhytaikaisen termisen virtakestoisuuden. Se on suurin oikosulkuvirran tehollisarvo, joka kojeen tulee kestää tietyn ajan ilman, että sen lämpenemiselle asetettuja raja-arvoja ylitetään. Yleensä käytetty kesto aika on ollut 1s. Termisen virtakestoisuuden toteamiseksi suoritetaan niin sanottu termisen oikosulkukoe. Se on IEC:n mukainen koestus, jossa käytetään standardoituja virran tehollisarvoja. (Elovaara & Haarla 2011: 76–85.)

Kojeille määritellään termisen oikosulkuvirran lisäksi myös *oikosulkuvirran huippuarvo* (i_p). Sillä kuvataan kojeen mekaanista kestoisuutta sysäysoikosulkuvirran voima- vaikutuksia vastaan. Oikosulkuvirran huippuarvosta (i_p) käytetään myös nimitystä *dynaaminen kestovirta* (i_{dyn}). Dynaamisella oikosulkukokeella, jonka testausvirtana on (i_p), pyritään selvittämään, että kestävätkö kojeiston kaikki kojeet ja kiskot sysäys- oikosulkuvirran niihin aiheuttamat mekaaniset rasitukset ilman muodonmuutoksia ja eristin vaurioita. Virtakestoisuuden standardin mukaiset tehollisarvot (I_{thr}) ja huppuarvot (i_p) on esitetty taulukossa 7. (Elovaara & Haarla 2011: 76–85.)

Taulukko 7. IEC:n määrittelemät virtakestoisuuden tehollis- ja huippuarvot

$(I_{thr})/kA$	5,0	6,3	8,0	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100
$(i_p)/kA$	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	250

4.6 Muita yleisiä vaatimuksia

Jännite- ja virtakestoisuuden lisäksi on kojeille asetettu myös muita yleisiä vaatimuksia. Kojeita hankittaessa on edellä mainittujen seikkojen lisäksi kiinnitettävä huomiota myös seuraaviin seikkoihin:

- hyötysuhde
- mittaustarkkuus
- toimintakestoisuus
- osittaispurkausvapaus
- eristeiden suojaus kostumiselta
- ympäristöolosuhteet
- apujännitteiden määrittely
- ohjaustavan valinta
- apupiirien luotettavuus
- liittyminen muihin laitoksiin
- korroosiosuojaus

Lisäksi kojeiden valinnassa on selvitettävä tiettyjä turvallisuusnäkökohtia. Huomioitavia asioita ovat esimerkiksi maadoituksen virrankestoisuus, valokaaren aiheuttaman valokaaripaineen purkautumislukut, kennojen läpivientieristimet ja palamattomat väliseinät. Tärkeää on myös selvittää kojeiden hankintaan liittyvät kaupalliset ehdot, toimitusaika, takuumääräykset sekä huolto- ja varaosakysymykset. (Elovaara & Haarla 2011: 76–85.)

4.7 Oikosulkuvoimat

Oikosulkuvoimat ovat mekaanisia voimia, jotka kohdistuvat virtateihin ja niiden tukirakenteisiin. Oikosulkuvoimat syntyvät oikosulkuvirtojen vaikutuksesta. Oikosulkuvalokaaren vaikutukset ja oikosulkuvirran aiheuttama lämpeneminen yhdessä oikosulkuvoimien kanssa muodostavat kokonaisuuden, jolla määritellään rakenteen oikosulkulujuus. (Elovaara & Haarla 2011: 76–85.)

5 Jakelumuuntamot

5.1 Yleistä

Jakelumuuntamoiden tehtävänä on muuntaa 10 kV:n tai 20 kV:n keskijännite sähkön loppukäyttäjille sopivaksi 400/230 V:n pienjännitteeksi. Standardin SFS-EN 50160, *Yleisen jakeluverkon jakelujännitteen ominaisuudet*, mukaan keskijännitteellä tarkoitetaan jännitealuetta 1 kV...36 kV. Keskijännitteellä tapahtuva sähkötehon siirto aiheuttaa verkkoon jännitehäviöitä huomattavasti vähemmän, kuin pienjännitteellä tapahtuvassa tehonsiirrossa. Tämän takia muuntamot pyritään rakentamaan aina mahdollisimman lähelle käyttökohdetta. Asutus- ja teollisuusalueiden kehittyminen ja sitä kautta sähkön tarpeen kasvaminen ja muuttuminen ovat aiheuttaneet tarvetta muuttaa myös jakelu-verkon rakennetta. Erilaisten nykyaikaisien muuntamorakenteiden ansiosta muuntamot voidaan tuoda turvallisesti lähelle loppukäyttäjiä yhtä hyvin taajamissa kuin haja-asutusalueillakin. Erillisten koppi-, puisto- ja pylväsmuuntamoiden lukumäärä tulee todennäköisesti kasvamaan tulevaisuudessa. Rakennuksiin sijoitettujen muuntamoiden määrä tulee kaupungeissa yhä lisääntymään, mutta valtakunnallisesti niiden määrän ei enää merkittävästi uskota kasvavan. (Monni 2005: 47–50.)

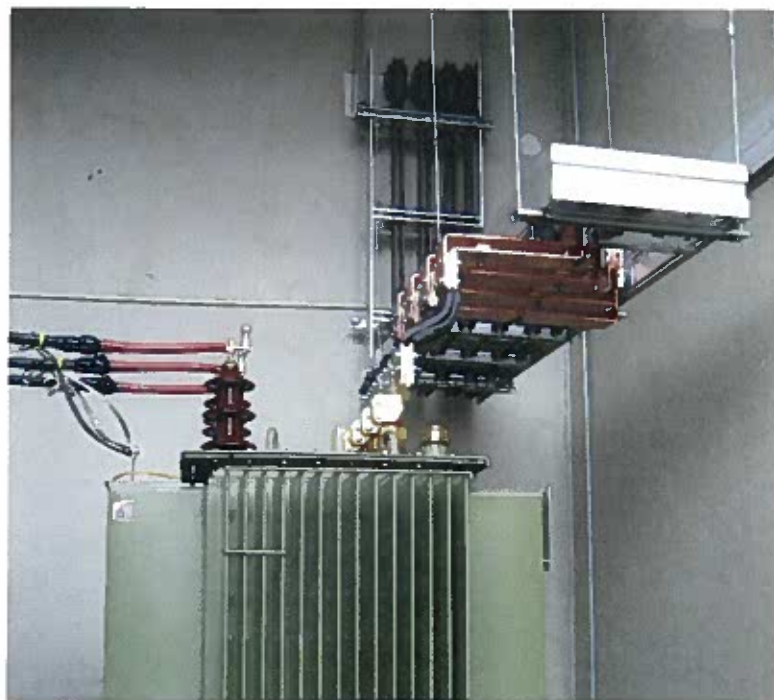
5.2 Muuntamoiden käyttö

Sähkön tuominen lähelle sähkön loppukäyttäjää suurjännitteellä parantaa sähkön laatua ja lisää verkon siirtokykyä. Tämän takia muuntamoiden lukumäärä on kasvanut ja siitä seurauksena ovat pienjännitejohtojen pituudet vastaavasti lyhentyneet. Jakelumuuntamoiden rakennetta on tarkoituksen mukaisesti pyritty kehittämään mahdollisimman käyttövarmaksi, taloudelliseksi ja yksinkertaiseksi. Jakelumuuntamoina voidaan käyttää puistomuuntamoita, pylväsmuuntamoita tai rakennukseen sijoitettuja muuntamoita. Tässä päättötyössä keskitytään kuitenkin pääasiassa rakennukseen sijoitettuihin muuntamoihin, eli kiinteistömuuntamoihin. Kiinteistömuuntamot jaetaan vielä kahteen muuntamotyyppiin sen mukaan, mikä taho muuntamon omistaa. Muuntamo voi olla joko jakeluverkonhaltijan muuntamo tai sähkönkäyttäjän muuntamo. Ensimmäisessä tapauksessa verkonhaltija hoitaa kaikki muuntamoonsa

liittyvät suunnittelu-, rakentamis- ja käyttötyöt. Jälkimmäisessä tilanteessa kiinteistön omistaja käyttää vastaaviin toimenpiteisiin suunnittelutoimistojen, urakoitsijoiden sekä sähköliittymän osalta myös verkonhaltijan palveluita. (Monni 2005: 47–50.)

5.3 Kiinteistömuuntamot

Kiinteistömuuntamo rakennetaan juuri tätä tarkoitusta varten rakennukseen suunniteltuihin ja tehtyihin muuntamotiloihin. Muuntamotilan pitää olla sijoitettu rakennukseen siten, että muuntamon rakentaminen ja hoitaminen voidaan suorittaa esteettömästi. Kiinteistömuuntamot ovat yleensä maakaapeliverkkoon liitettäviä muuntamoita. Muuntamossa on liityntäkennot keskijännitekaapeleiden liittämistä ja tarvittaessa myös verkon jakamista varten. Muuntaja liitetään keskijännitekojeistoon kaapelien välityksellä. Pienjännitepääkeskuksen syöttö voidaan toteuttaa joko kaapeleilla tai kiskostolla. Kuvassa 2 näkyy kojeistolta muuntajalle tulevat suurjännitekaapelit ja pienjännitepuolelle kytketty kiskosto. Yleisimmin käytetyt muuntajakoot rakennukseen sijoitetuissa muuntamoissa ovat 200...800 kVA. Näiden lisäksi kiinteistömuuntamoissa käytetään myös 1000 kVA:n, 1250 kVA:n ja joskus jopa 1600 kVA:n muuntajia. (Monni 2005: 47–50.)



Kuva 2. Suurjännitekaapelit, muuntaja ja pienjännitepuolella kiskosto

6 Muuntamotilat

6.1 Rakennustekniset vaatimukset

Rakennukseen sijoitetuille muuntamoille on asetettu rakennus- ja paloteknisiä vaatimuksia ympäristöministeriön julkaisussa E1, rakennusten paloturvallisuus. Lähtökohtana vaatimuksissa on palavien aineiden ja rakenteiden muodostaman palokuorman suuruus muuntamossa. Merkittävin muuntamon palokuormaan vaikuttava tekijä on muuntajan eristysnesteinä käytettävän öljyn määrä. Palokuorma voidaan laskea jakamalla muuntajaöljyn määrän ja lämpöarvon 42 MJ/kg tulo muuntajatilän lattian pinta-alalla. (ST 53.11, 2003)

Osastoivissa rakenteissa olevien ovien tai pienehköjen aukkojen palonkestävyyssajan tulee olla vähintään puolet osastoivalle rakenteelle määritellystä palonkestävyyssajasta. Johtojen läpiviennit eivät saa huonontaa rakenteen osastoivuutta. Taulukossa 8 on kerrottu kantavien ja osastoivien rakenteiden paloluokat öljy- sekä kuivaeristeisen muuntajan muuntamotilassa. Taulukossa näkyvät numerot kirjaimien perässä kertovat palonkestävyyssajan minuutteina, jonka kyseisen rakenteen on kestävä. (ST 53.11, 2003)

Taulukko 8. Kantavien ja osastoivien rakenteiden paloluokat öljy- sekä kuivaeristeisen muuntajan muuntamotilassa

<i>Kerroksien lukumäärä</i>	<i>O1-luokan eristysnesteitä sisältävän muuntajan tila</i>		<i>F0-luokan kuivamuuntaja- tai kojeistotila</i>	
	<i>Kantavien rakennusosien vaatimukset</i>	<i>Osastoivien rakennusosien vaatimukset</i>	<i>Kantavien rakennusosien vaatimukset</i>	<i>Osastoivien rakennusosien vaatimukset</i>
<i>enintään 2</i>	<i>R 120</i>	<i>EI 120</i>	<i>R 60</i>	<i>EI 60</i>
<i>3-8 tai 1. kellaritaso</i>	<i>R 180</i>	<i>EI 120</i>	<i>R 60</i>	<i>EI 60</i>
<i>yli 8 tai 1. kellaritason alapuolella</i>	<i>R 240</i>	<i>EI 120</i>	<i>R 120</i>	<i>EI 120</i>

Taulukossa esitetyt arvot edellyttävät, että muuntaja on kooltaan enintään 1600 kVA. Jos samassa muuntamossa on useita muuntajia, on jokainen yli 1000 kVA:n muuntaja sijoitettava omaan palotilaansa. Valokaarioikosulusta aiheutuva painevaikutus on

huomioitava muuntamon rakenteiden mitoituksessa. Etenkin osastoivien seinien kanssa, valokaaripaine on määräävä tekijä rakenteiden mitoituksessa. (ST 53.11, 2003)

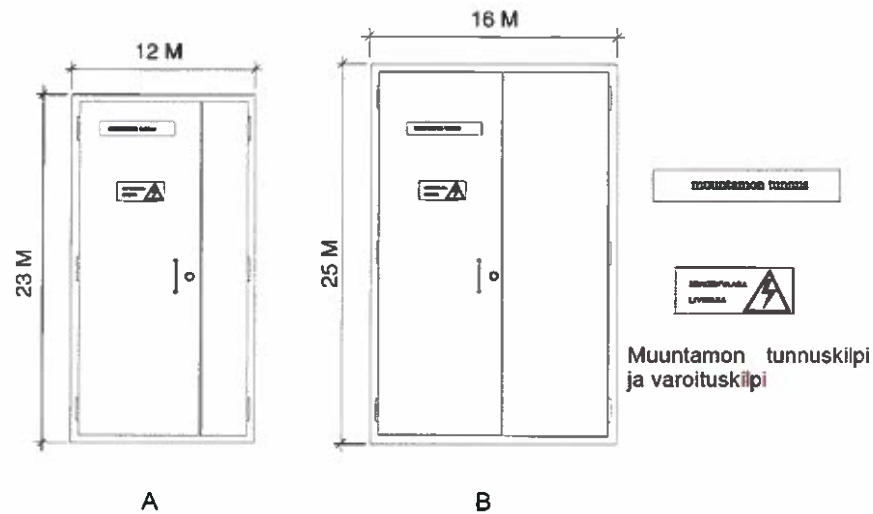
Yleisesti ottaen muuntamotilat tulee sijoittaa rakennuksen ensimmäiseen maanpäälliseen kerrokseen niin, että käynti muuntamotiloihin tapahtuu suoraan ulkoa. Kun muuntamoita ollaan sijoittamassa rakennukseen, muuntamotilojen sijainti verkonhaltijan jakeluverkkoon nähden on huomioitava suunnitelmissa. Muuntamotilaan tulevan liittymäkaapelin reitti pitää olla mahdollisimman lyhyt ja suora. Muuntamon sijainti ja liittymäkaapelin reitti sovitaan yhdessä verkonhaltijan kanssa. Verkonhaltijan käyttöhenkilökunnalla tulee olla esteetön pääsy muuntamoon ympäri vuorokauden. (RT 92–10774, 2002.)

Muuntamotilojen korkeus on oltava yleensä vähintään 2500 mm:ä. Kulkureitti muuntamoon on suunniteltava siten, että suuret ja painavat muuntamolaitteet on helppo kuljettaa sisään muuntamoon. Taulukossa 9 on esitetty kahden eri standardimuuntajan kuljetuksessa huomioitavia tila- ja painovaatimuksia. (RT 92–10774, 2002.)

Taulukko 9. Kahden eri standardimuuntajan mitat ja painot

<i>Muuntaja</i>	<i>Pituus</i>	<i>Leveys</i>	<i>Korkeus</i>	<i>Paino</i>
<i>1250 kVA</i>	<i>2100 mm</i>	<i>1100 mm</i>	<i>2100 mm</i>	<i>3700 kg</i>
<i>1600 kVA</i>	<i>2300 mm</i>	<i>1100 mm</i>	<i>2200 mm</i>	<i>4200 kg</i>

Muuntamon ovien pitää avautua ulospäin. Ovet varustetaan lukoilla, joiden sarjoituksesta tulee sopia verkonhaltijan kanssa. Jos ovi on kaksiosainen, on sen toinen osa varustettava hätäsalvalla. Lisäksi ovet on voitava lukita auki asentoon kytkentätoimenpiteiden ajaksi. Tämä varotoimenpide vähentää merkittävästi valokaarioikosulun painevaikutuksia vikatilanteessa. Kuvassa 3 on muuntamon ovesta kaksi malliesimerkkiä. (RT 92–10774, 2002.)



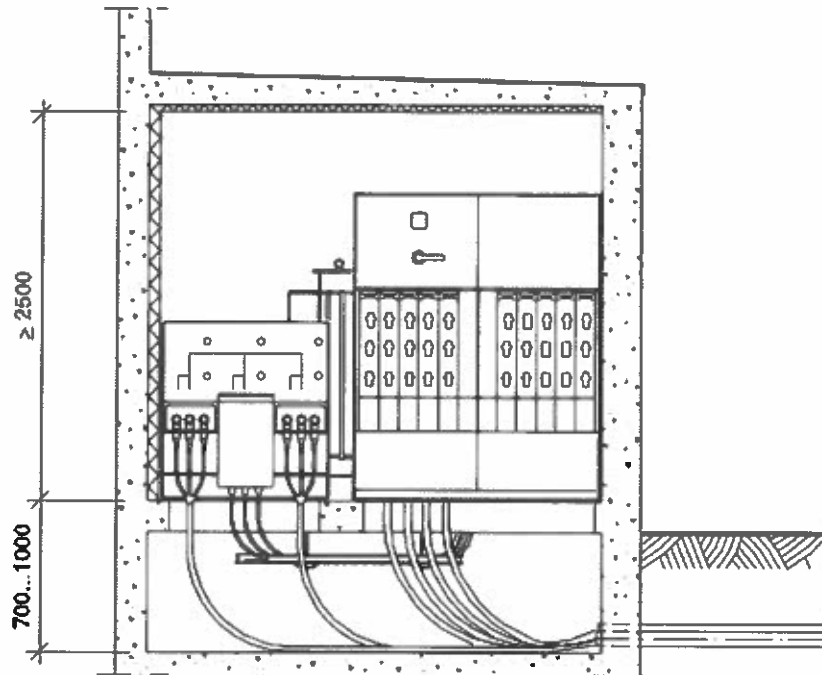
A = yleisesti käytetty malli
 B = vaihtoehtoinen malli ilmaeristeisille kojeistoille ja suurille muuntajille

Kuva 3. Kaksi erilaista muuntamon ovea.

Muita rakennusteknisiä vaatimuksia ovat:

- Muuntajaöljyn valuminen muihin tiloihin on estettävä.
- Muuntajatilaa kautta ei ole suositeltavaa kuljettaa mitään putkia, kanavia tai kaapeleita, jotka eivät liity muuntamon toimintaan.
- Lämpöeristeet tulee rakentaa lämpimien tilojen suuntaan, ja katon eristyksellä pyritään estämään kondenssiveden muodostumista
- Muuntamon valaisimet pitää sijoitella siten, ettei lampunvaihdosta voi aiheutua vaaraa
- Valaistuskytin sijoitetaan oven pieleen, ja on suositeltavaa, että astuttaessa muuntamoon osa valoista syttyy automaattisesti liikeilmaisimen tai ovikoskettimen avulla
- Muuntamotilan seinät, lattia- ja kattopinnat käsitellään niin, ettei niistä irtoa pölyä tai muuta likaa

Muuntamotiloissa on yleensä oltava tai sinne on rakennettava 700–1000 mm lattia-tason alapuolelle ulottuvat kaapelikanavat. Kuvassa 4 on esitetty liittymäkaapelien tuonti keskijännitekojeistoon kaapelikanavaa pitkin. (RT 92–10774, 2002.)



Kuva 4. Liityntäkaapelit tuodaan kaapelikanavaa pitkin kojeistoon.

6.2 Palotekniset vaatimukset

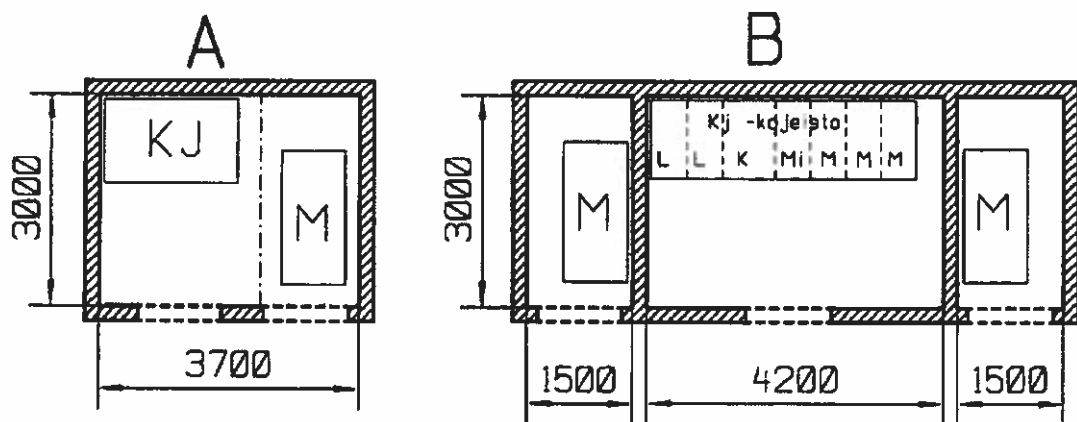
Paloturvallisuusmääräykset on luonnollisesti huomioitava jo asennusten suunnittelu- vaiheessa. Määräykset edellyttävät, että tulipalon sattuessa tiloista on voitava poistua turvallisesti. Suurjännitelaitteistoissa on käytettävä, laitteiston koon ja käyttötarkoituksen mukaisia, automaattisia suojalaitteita, jotka suojaavat ylikuormitukselta sekä sisäisiltä että ulkoisilta vioilta. Laitteiston käyttäjä tai omistaja määrittelee vaatimukset kiinteälle sammutuslaitteistolle, jolla palovaurioita rajoitetaan. Laitteita, joista voi aiheutua kipinöintiä tai jotka lämpenevät voimakkaasti, ei saa käyttää palovaarallisissa tiloissa, ellei laitteiden rakenne itsessään vähennä materiaalien syttymistä. (SFS 6001 2009: 55–59.)

Jos paloilmoinjärjestelmän käyttö on rakennusluvan ehtona tai paloviranomainen sitä vaatii, tulee kohde varustaa paloilmoinjärjestelmällä. Paloilmoinjärjestelmän toteuttamista koskevien määräyksien mukaan, kaikki valvottuun palo-osastoon kuuluvat tilat tulee varustaa paloilmomaisimilla. Tällaisia tiloja ovat esimerkiksi koosta riippumattomat tekniset tilat, kuten sähkökeskuskomerot. Tämän perusteella pitää siis

myös muuntamotilat varustaa paloilmallisilla. Muuntamotilojen rakennusteknisissä vaatimuksissa todettiin, ettei muuntamotilojen läpi ole suositeltavaa viedä mitään putkia, kanavia tai kaapeleita. Paloilmoittimen toteutuksessa on syytä ottaa huomioon muuntamotiloissa mahdollisesti vaikuttavat voimakkaat magneettikentät, koska ne voivat aiheuttaa paloilmotinsilmukkaan häiriöitä. (Hyytiä ym. 2010.)

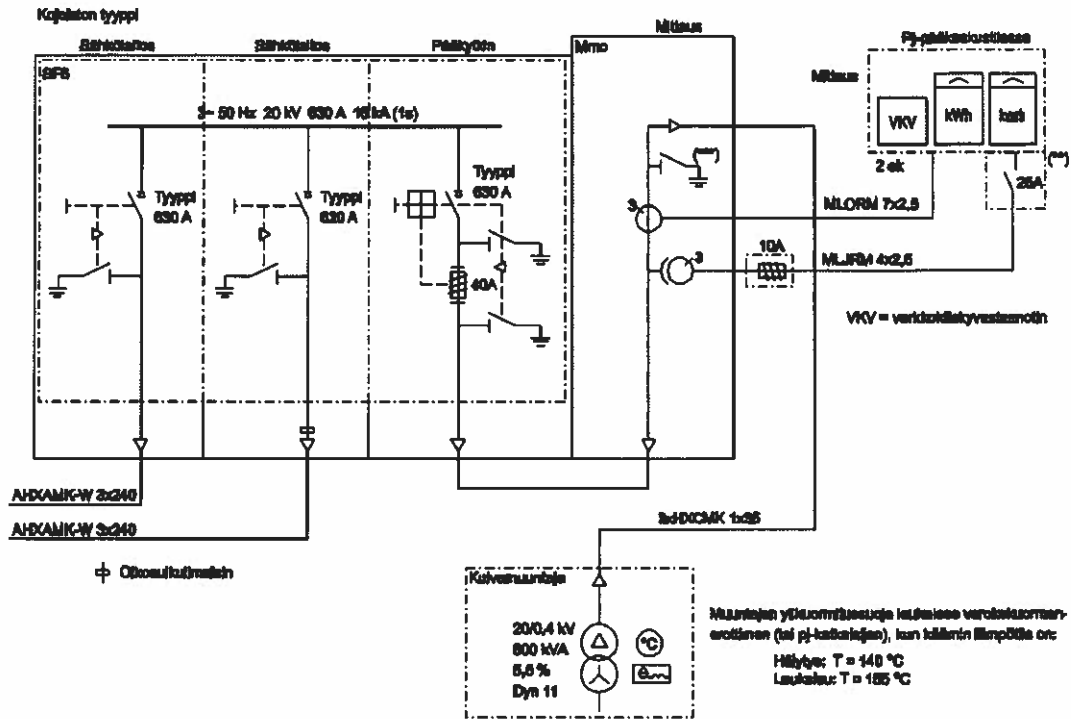
6.4 Tilantarve

Käytettävällä keskijännitekojeistolla on suurin vaikutus muuntamon tilantarpeeseen. SF_6 -kaasulla eristettyjen kojeistojen käytön yleistymisen on vähentänyt kojeistojen tilantarvetta kolmasosaan, ilmaeristeisiin kojeistoihin verrattuna. Oleellisesti tilantarpeeseen vaikuttaa myös pienjännitepääkeskuksien sijoittelu. Muuntamotilojen erilaisia pohjaratkaisuja on esitetty kuvassa 5. Malli A esittää yhden muuntajan muuntamoa, jonka teho on enintään 1600 kVA. Pienjännitepääkeskus on sijoitettu eri tilaan. Kojestossa on kaksi kuormanerotimilla varustettua liityntäkennoa. Pääkytkimenä on varokekuormanerotin ja tämän jälkeen on mittauskenno. Mallin A mukainen muuntamolaitteisto on esitelty kuvassa 6. (ST 53.11, 2003.)



Kuva 5. Muuntamotilojen pohjaratkaisuja

Esimerkki B esittää kahden muuntajan muuntamon. Molempien muuntajien teho on enintään 1600 kVA ja muuntajat on sijoitettu omiin palotiloihin. Kojestossa on kaksi liityntäkuormanerotinta, pääkatkaisija, mittauskenno ja kolme muuntajakennoa. (ST 53.11, 2003.)



Kuva 6. Mallin A mukainen muuntamolaitteisto

6.5 Ilmanvaihto

Rakennukseen sijoitetun muuntamotilan ilmanvaihdolle on myös asetettu tiettyjä vaatimuksia. Muuntamon ilmanvaihtokanavia ei saa yhdistää kiinteistön muihin ilmanvaihtokanaviin. Kanavien tulee kulkea suorinta mahdollista reittiä muuntamosta ulos. Tuloilma pitää ottaa sellaisesta paikasta, että se olisi mahdollisimman viileää ja puhdasta. Tuloilma pitää ohjata muuntajan alaosaan siten, että jäähdytys saataisiin mahdollisimman tehokkaaksi. Jos jäähdytysilma ohjataan muuntajatilaa yläosiin, se törmää muuntajasta kohoavaan lämpimään ilmaan ja jäähdytys pienenee merkittävästi. (ST 53.11, 2003.)

Ilmanvaihtokanavien ulkona olevat päät tulisi varustaa metallisäleiköillä. Suosituksen mukaan, säleikön pitää olla ominaisuuksiltaan vahva ja kiinteä, eikä säleikön silmäkoko saa ylittää 20 mm:ä. Sekä säleikön että kanavien pitää olla rakenteeltaan sellaisia, ettei niiden kautta pystytä työntämään mitään esineitä muuntamoon. Lisäksi rakenteen tulee olla sellainen, ettei myöskään sadevesi pääse sitä kautta sisään muuntamoon. Muuntamon ulkopuolisten hormien rakenne pitää olla palomääräysten vaatimuksien

mukainen. Muuntamoiden ilmanvaihdon yhteydessä myös palopeltien käyttö on mahdollista. Ilmanvaihdon poistoaukon pitää sijoittaa sellaiseen paikkaan, ettei sen välittömässä läheisyydessä ole mitään palavia rakenteita. (ST 53.11, 2003.)

Rakennukseen sijoitetussa muuntamossa ei yleensä saada aikaan riittävää luonnollista ilmanvaihtoa. Tästä johtuen muuntamoissa käytetään yleisesti koneellista ilmanvaihtoa. Taulukossa 10 esitetään muuntamosta koneellisesti poistettaville ilmamäärille asetettuja vaatimuksia. Jos kuormitushuippu osuu kesäaikaan tai kuormitus on tasaista ympäri vuorokauden, on ilmamääriä suurennettava tarpeen mukaan. Koneellinen ilmanvaihto tulee varustaa automaattisilla ohjauksilla, joihin voidaan käyttää esimerkiksi huonetermostaattia tai muuntajan kosketinlämpömittaria. Puhaltimeksi muuntamoon sopii esimerkiksi kahden nopeuden puhallin, jolloin muuntajan kosketinlämpömittari voi tarvittaessa käynnistää pienemmän nopeuden ja huonetermostaatti suuremman nopeuden. Ilmanvaihdon hälytykset tulee ohjata kiinteistön hälytysjärjestelmään. (ST 53.11, 2003.)

Taulukko 10. Muuntamosta koneellisella ilmanvaihdolla poistettava ilmamäärä

<i>Muuntajateho</i> <i>kVA</i>	<i>Poistettava ilmamäärä (m³/h)</i>	
	$\Delta t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$	$\Delta t = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$
<i>800</i>	<i>1200</i>	<i>2300</i>
<i>1000</i>	<i>1400</i>	<i>2800</i>
<i>1250</i>	<i>1600</i>	<i>3100</i>
<i>1600</i>	<i>1900</i>	<i>3900</i>

Δt = tulo- ja poistoilman lämpötilan erotus

Lisäksi tulee huomioida ilmanvaihtolaitteista syntyvän häiritsevän melun mahdollinen esiintyminen. Tästä johtuen ilman kiertonopeus pitää asettaa tarpeeksi alhaiselle tasolle ja mahdolliset rakenteisiin johtuvat äänet on tarvittaessa poistettava. (ST 53.11, 2003.)

6.6 Valokaari ja sen vaikutukset

6.6.1 Yleistä

Kun kahden johtimen välinen eristys vioittuu tai menettää eristyskykynsä, syntyy niiden välille valokaari. Eristeen vaurioitumisen lisäksi, valokaari voi syntyä johtimien välisen jännitteen liiallisen nousun seurauksena. Myös virtapiirin katkaisun seurauksena, esimerkiksi katkaisijan avautuminen vikatilanteessa, syntyy avautuvien koskettimien välille valokaari, joka kuitenkin sammutetaan avautumisen aikana. (Aura & Tonteri 1993: 247–250.)

Eristysrakenteiden vaurioista aiheutunut valokaari voi aiheuttaa kojeistoissa merkittäviä vahinkoja, ellei valokaarta sammuteta riittävän nopeasti ja tehokkaasti. Valokaari synnyttää palaessaan valtavan määrän lämpöenergiaa ja erittäin korkean lämpötilan. Näiden yhteisvaikutuksesta syntyy tilanne, joka on yleensä äärimmäisen tuhoisia laitteille ja hengenvaarallisia ihmisille. (Aura & Tonteri 1993: 247–250.)

Valokaari oikosulku poikkeaa merkittävästi normaalista kahden vaiheen välisestä oikosulusta, jossa vaiheiden välillä on galvaaninen yhteys. Valokaarioikosulussa sen kantapisteiden välille muodostuu ionisoitunut virtapiiri. Valokaaren lämpötila voi nousta noin 2000 K ja kantapisteissä lämpötila saattaa olla jopa 4500 K. Valokaaren lämpötilaan vaikuttavia tekijöitä ovat valokaarivirta ja valokaarijännite sekä jäähdytysolosuhteet. Suuri lämpötila voi aiheuttaa kiskomateriaalin sulamisen ja höyrystymisen. (Aura & Tonteri 1993: 247–250.)

6.6.2 Valokaaren ympäristövaikutukset

Valokaaren aiheuttama välitön polttovaikutus kohdistuu etupäässä elektrodeihin ja osiin, jotka joutuvat kosketuksiin valokaaren kanssa. Tällaisia ovat esimerkiksi lähellä olevat kiskot sekä kennojen ovet ja seinät. Valokaaren välilliset polttovaikutukset syntyvät kuumista kaasuista ja ympäristöön roiskuvasta sulasta metallista. Valokaaren säteilyteho on hyvin suuri ja sen suuruuteen vaikuttaa elektrodien valmistusmateriaali. Esimerkiksi alumiinin säteilyteho on kolminkertainen verrattuna kupariin. Valokaaren synnyttämä voimakas valoilmio voi aiheuttaa hetkellistä sokaistumista tai pysyviä silmävammoja. Lisäksi valokaari aiheuttaa myös voimakkaan äänen ja painevaikutuksen. (Aura & Tonteri 1993: 247–250.)

6.6.3 Rakenteiden ylipainekestoisuus

Seinien ja runkorakenteiden materiaalit ja paksuus, käytetyt tuentamenetelmät ja liittävät sekä rakenteiden koko ovat asioita, jotka merkittävimmin vaikuttavat rakenteiden ylipainekestoisuuteen. Taulukossa 11 on esitetty ohjearvoja rakennusten yhteyteen sijoitettavien sähkötilojen ylipainekestoisuudelle. (Aura & Tonteri 1993: 247–250.)

Taulukko 11. Ohjearvoja sähkötiloissa sallituille paineille ja purkausluukkujen pinta-aloille

<i>Huoneen tilavuus (m³)</i>	<i>Sallittu paine (kPa)</i>	<i>Purkausluukun pinta-ala (m²/100m³)</i>
<i>alle 0,3</i>	<i>17–30</i>	<i>25–30</i>
<i>0,3–1</i>	<i>17–30</i>	<i>15–19</i>
<i>1–3</i>	<i>17</i>	<i>7,5</i>
<i>3–10</i>	<i>10</i>	<i>7,5</i>
<i>10–30</i>	<i>7,5</i>	<i>6</i>
<i>30–100</i>	<i>5</i>	<i>5</i>
<i>100–300</i>	<i>5</i>	<i>4</i>
<i>300–1000</i>	<i>3,5</i>	<i>2,5</i>
<i>1000–3000</i>	<i>3,5</i>	<i>1,6</i>
<i>yli 3000</i>	<i>3,5</i>	<i>1,2</i>

Sähkötilojen ylipainekestoisuus on kokonaisuus, joka on monien osatekijöiden summa. Tästä syystä taulukossa 11 esitetyt arvot pitää tulkita suuntaa antaviksi ohjearvoiksi. Rakennusmateriaalin ovat tärkeässä osassa, kun määritellään tilan ylipainekestoisuutta. Taulukossa 12 on esitelty yleisimpiä rakennusmateriaaleja sekä niiden painekestoisuus. (Aura & Tonteri 1993: 247–250.)

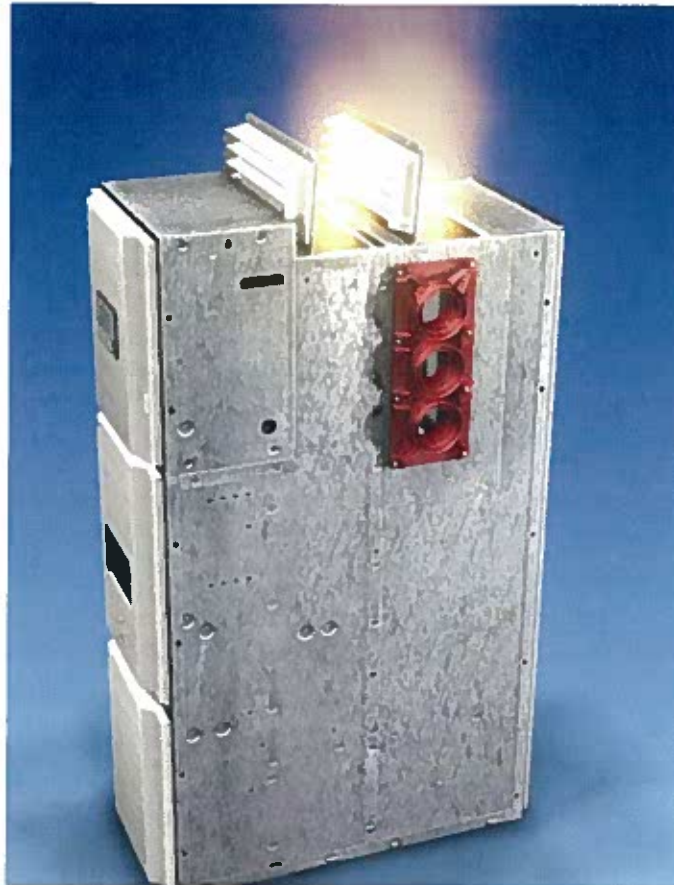
Taulukko 12. Ylipainekestoisuudet yleisimmille rakennusmateriaaleille

<i>Rakenne</i>	<i>Ylipainekestoisuus</i>
<i>Normaalisti raudoitettu n. 20 cm paksu betoniseinä</i>	<i>~20 kPa</i>
<i>Hyvin muurattu, raudoittamaton ja 20 cm paksu tiiliseinä</i>	<i>~5 kPa</i>
<i>Muurattu tiiliseinä, jossa tiilet ovat pystyssä</i>	<i>0,2–2 kPa</i>
<i>Siporex - kattoelementti n. 25 cm paksu</i>	<i>3–5 kPa</i>
<i>Ulospäin avautuva palo-ovi n. 2 m²</i>	<i>1–3 kPa</i>
<i>Ovi, jossa on normaalit saranat ja lukot. Pinta-ala 2 m²</i>	<i>0,4–1,2 kPa</i>
<i>Ovi, jossa on normaalit saranat ja lukot. Pinta-ala 4 m²</i>	<i>0,2–0,6 kPa</i>

6.6.4 Valokaaren vaikutusten torjuminen

Valokaaresta aiheutuvia haittavaikutuksia pystytään ennalta ehkäisemään melko tehokkaasti, kun jo suunnitteluvaiheessa otetaan huomioon niihin liittyvät asiat. Paineenpurkausluukut kojeiston katossa avautuvat valokaarioikosulun vaikutuksesta (kuva 7). Suunnittelussa tulisikin huomioida ainakin seuraavia näkökohtia (Aura & Tonteri 1993: 247–250.):

- rajoitetaan oikosulkutehoa jakamalla kuormituksia
- pyritään lyhyisiin laukaisuaikoihin
- tehdään kojeistoon purkausluukut
- tehdään kennoihin väliseinät
- kokoojakiskot viedään läpivientieristimillä kennosta toiseen
- riittävän tukevat ovien saranat ja lukitussalvat
- kaksinkertaiset seinät tärkeissä kennoissa (releet)



Kuva 7. Kojeen katossa on paineenpurkausluukut

6.7 Muuntamon varusteet ja merkinnät

6.7.1 Muuntamon varusteet ja työvälineet

Muuntamossa työskenneltäessä tarvitaan erilaisia tarvikkeita ja työvälineitä huolto- ja käyttötoimenpiteitä varten. Keskijännitekojeistossa liityntäkaapelit pitää varustaa jännitteen ilmaisimilla. Erityisesti tilanteissa, joissa on takasyötön mahdollisuus, tulee myös jokaisella muuntaja- tai kaapelilähdöllä olla oma jännitteenilmaisimensa. Kun työskennellään ilmaeristeisien kojeistojen parissa, tulee työryhmän varusteisiin kuulua jännitteen koettimet. (ST 53.11, 2003.)



Kuva 8. Siirrettävät työmaadoitusvälineet asennettuna paikoilleen.

Uudet ilmaeristeiset kojeistot on mahdollista varustaa maadoituskytkimillä. Tällöin jännitteen ilmaisimien on riittävä varuste. Uusille kojeistoille on asetettu vaatimukseksi, että jokainen muuntaja, kiskosto ja kaapelilähtö on varustettava maadoituskytkimillä. Muuntajan maadoituskytkimen pitää maadoittaa sen suurjännitesulakkeiden molemmat navat, että sulakkeen vaihto voidaan tehdä turvallisesti. Jos näin ei ole, on sulakkeen vaihdon turvallisuus varmistettava muilla keinoilla. Jos maadoituskytkimen sijoittaminen mittauskennoon ei onnistu, se voidaan korvata maadoituskohtioilla ja siirrettävillä maadoitusvälineillä. Kuvassa 8 on siirrettävät maadoitusvälineet kytketty liittymäkennoon keskijännitesyöttökaapeleihin. Maadoituskytkimet vaaditaan myös 1000 A:n tai sitä suuremmille pienjännitekeskuksille. Tätä pienemmät pienjännitekeskukset varustetaan siirrettävillä työmaadoitusvälineillä. (ST 53.11, 2003.)

Muuntamossa pitää olla aina varalla muuntajan suojaukseen käytettäviä keskijännite-sulakkeita 3 kappaletta jokaista käytössä olevaa kokoa tai lajia. Jos sulakkeiden vaihtamiseen tarvitaan joitain erikoistyökaluja, tulee myös ne löytyä muuntamosta. Sulakkeet ja erikoistyövälineet pitää sijoittaa niitä varten varattuun paikkaan, josta ne ovat helposti saatavilla. (ST 53.11, 2003.)

6.7.2 Muuntamon merkinnät

Muuntamoiden laitteistoihin veloitetaan liitettäväksi vähintään seuraavat merkintä-kilvet:

- Liittymiskuormanerotimet: VERKONHALTIJA yritys ja heidän määrittelemänsä KAAPELIOSOITE
- Kojeen mukaan merkitään PÄÄKYTKIN tai PÄÄKATKAISIJA
- Mittamuuntajat: MITTAUS
- Muuntajat: MUUNTAJA 1, MUUNTAJA 2 jne.
- Lähdöt; LÄHTÖ 1 ja sen osoite jne.
- Päämittarit: PÄÄMITTAUS.

Muiden laitteiden merkinnöissä noudatetaan muuntamon haltijan ohjeita.

Kuvissa 9 ja 10 on esimerkkejä sähkön vaarallisuudesta varoittavista varoituskilvistä sekä kuvassa 11 muuntamon oveen sijoitettava "MUUNTAMO" -kilpi. Jokainen muuntamo tulee varustaa vähintään seuraavilla standardin SFS 6002 Sähkötyöturvallisuus, mukaisilla turvallisuuskilvillä:

- Kolmion muotoisia "ÄLÄ KYTKE – TYÖ KÄYNNISSÄ" kilpiä 2–3 kappaletta.
- Kolmion muotoisia, yleisestä sähkön vaarallisuudesta varoittavia kilpiä kaksi kappaletta.
- Suorakaiteenmuotoinen kilpi, jossa on varoitusnuoli kolmion sisällä ja teksti "PÄÄSY SIVULLISILTA KIELLETTY".



Kuva 9. Työt käynnissä -varoituskilpi.



Kuva 10. Varoituskilpi sähkön vaarallisuudesta.

Muuntamon oveen, sen ulkopuolelle, asennetaan kilpi, jossa lukee "MUUNTAMO". Tämän lisäksi oveen kiinnitetään kilpi, josta käy ilmi verkonhaltijan kanssa sovittu muuntamon nimi ja/tai numero. (ST 53.11, 2003.)



Kuva 11. Muuntamon oveen sijoitettava "MUUNTAMO" -kilpi.

6.7.3 Muuntamon dokumentit

Jokaisessa muuntamossa pitää olla seinälle kiinnitettynä, näkyvässä paikassa, muuntamon pääkaavio, maadoituskaavio, huomiokilpi "MUISTA TYÖMAADOITTAA", joka muistuttaa työmaadoitusten pakollisuudesta ja yleinen hätänumero.

Sähkökäyttäjän muuntamossa pitää olla kansio, johon on koottu kaikki muuntamo ja sen käyttöä koskevat asiakirjat. Dokumentaatiosta on käytävä ilmi muun muassa seuraavat asiat:

- Käytön johtajan yhteystiedot
- Tiedot oikosulkuvirroista suunnitteluvaiheessa, ja normaalin käytön aikana. (Pitää käydä ilmi tiedonantopäivä sekä tiedon antaja.)
- Maadoitusresistanssin arvo käyttöönotosta ja tarkastusmittauksista merkitään asiakirjoihin.
- Verkonhaltijan ilmoittama, maadoitusresistanssilta vaadittava arvo. (Päiväys ja henkilö, keneltä tiedot on saatu.)
- Releasettelut: laukaisuvirta ja laukaisuaika sekä maasulkusuojauksen asettelut. (Päiväys ja henkilö, jonka kanssa asiasta on sovittu.)

Kansioon on suositeltavaa lisätä myös käyttöön ja kunnossapitoon liittyvät asiakirjat. Tällaisia dokumentteja ovat kaikki tarkastuspöytäkirjat, huolto ja kunnossapito-ohjelma sekä päiväkirja toimenpiteiden kirjaamiseen. (ST 53.11, 2003.)

7 Keskijännitekojeistot

7.1 Yleistä

Kojeistot voidaan jakaa kolmeen eri tyyppiin. Ne ovat koteloitu, suljettu tai avoin kojeisto. Nykyaikaiset uudet kojeistot ovat joko koteloituja tai suljettuja kojeistoja. Avoimia kojeistoja ei enää nykyisin asenneta, mutta niitä löytyy vielä jonkin verran vanhoista muuntamoista. (Monni 2005: 35–36.)

Keskijännitekojeisto on kokonaisuus, joka muodostuu erilaisista toiminnallisista osista, kennoista. Kojeston toiminnallisia osia ovat muun muassa erotin-, katkaisija-, liityntä- ja mittauskennot. Kennot yhdistetään toisiinsa kokoojakiskostoilla. Kuvassa 12 on keskijännitekojeiston asennus käynnissä. (Monni 2005: 35–36.)



Kuva 12. Keskijännitekojeisto kennot avonaisina

7.2 Kokoojakiskosto

7.2.1 Kokoojakiskostojärjestelmät

Kokoojakiskosto muodostaa kojeistojen tehonsiirtojärjestelmän rungon. Kokoojakiskojärjestelmiä on monenlaisia. Tällaisia ovat muun muassa yksikiskojärjestelmä ja kaksikiskojärjestelmä. Edellä mainittuja ns. perusjärjestelmiä voi kuitenkin aina muokata tarpeen mukaan. Kiskostojärjestelmän valintaan vaikuttaa esimerkiksi käyttökohde, kojeiston suuruus sekä mahdolliset huoltovaatimukset. (Monni 2005: 36–37.)

Yksikiskojärjestelmä tulee kyseeseen silloin, kun kohteena on kytkinasema tai vastaava, jonka erottamisella ei ole merkittävää vaikutusta sähkönjakelun käyttövarmuuteen. Silloin kun vaaditaan korkeampaa käyttövarmuuden tasoa, on kyseeseen kohteeseen valittava kaksikiskojärjestelmä. Tällaisia kohteita ovat esimerkiksi sairaalat, joiden sähkönjakelu ei mistään syystä saa vaarantua. Kaksikiskojärjestelmää käytettäessä tarve huolto- ja kunnossapitotöistä aiheutuviin käyttökatkoksiin pienenee merkittävästi. (Monni 2005: 36–37.)

7.2.2 Kiskoston rakenne

Kiskosto on kokonaisuus, joka muodostuu virtakiskoista ja erilaisista eristimistä. Virtakiskot on valmistettu yleensä alumiinista tai kuparista. Yleisin valmistusmateriaali on alumiini, koska sillä on painoonsa nähden erinomainen sähköjohtokyky. Lisäksi sillä on hyvä lämmön poistokyky, alumiinia voi hitsata sekä valokaaren synnyttämä palamistuote on alumiinioksidia, joka ei johda sähköä. (Monni 2005: 37–38.)

Virtakiskot kiinnitetään tukieristimiin kiskonpitimien avulla. Eristimet valmistetaan valuhartsista. Tukieristimien lisäksi tarvitaan myös läpivientieristimiä. Läpivientieristimiä käytetään, kun virtakiskot viedään seinän läpi kennosta toiseen. Eristimessä oleva läpivientireikä tulee olla tarkasti kiskon muotoinen ja tiivis. Tällä pyritään estämään valokaaren eteneminen kennosta toiseen. (Monni 2005: 37–38.)

7.3 Erottimet

7.3.1 Yleistä

Erotin on kytkinlaite, joka toimii mekaanisesti. Erottimella nimensä mukaan erotetaan laitos tai laitteisto syöttävästä kiskosta. Erottimen tehtävänä on määräysten mukaan:

- muodostaa turvallinen avausväli
- tehdä laitoksen osat jännitteettömiksi, jotta voidaan työskennellä turvallisesti.

Sähköturvallisuusmääräysten mukaan, erottimen avausvälin on oltava erittäin luotettava. Vaatimuksen toteuttamiseksi on erottimen avausvälin oltava selvästi silmin nähtävissä tai se on varustettava luotettavalla mekaanisella asennonosoittimella. Tämän lisäksi erottimen avausvälin jännitelujuuden tulee olla parempi kuin muun sitä ympäröivän eristyksen jännitelujuus. (Elovaara & Laiho 1999: 263–271.)

Eroittimia ei ole tarkoitettu kuormitettujen virtapiirien avaamiseen tai sulkemiseen. Tämän takia niille ei ole asetettu vaatimusta virran katkaisu- tai sulkemiskyvylle. Erottimella on kuitenkin mahdollista käytännössä erottaa lyhyt kiskosto tai johto sekä katkaista muuntajan tyhjäkäyntivirta. Erottimen tulee olla toiminnaltaan niin luotettava, ettei se voi avautua tai sulkeutua tahattomasti minkään siihen ulkoisesti vaikuttavan tekijän takia. Tällainen ulkoinen tekijä voi olla esimerkiksi isku, tuuli, värinä tai tahaton kosketus. Erottimelta vaaditaan, että se on turvallisuussyistä voitava lukita sekä auki- että kiinni -asentoihin. Tällä halutaan estää erottimen tahaton vaaraa aiheuttava käyttö, kuten esim. erottimen auki ohjaus virrallisena. Kiinni-asennossa erottimen on pystyttävä johtamaan sen läpi kulkevat kuormitus- ja oikosulkuvirrat kaikissa tilanteissa. Sen on kestävä vastaava rasitus kuin siihen kytketyn johdon tai kiskostonkin. Kiinni-asennossa erottimen pitää yhdistää luotettavasti virtapiiriin molemmat puolet toisiinsa. Erottimien ohjaamiseen käytetään käsi-, paineilma- tai moottoriohjainta. Kojeistoissa käytetään erilaisia erottimia moneen eri tarkoitukseen. Tällaisia ovat esimerkiksi kuorman- ja varokekuormanerotin sekä maadoituserotin. (Elovaara & Laiho 1999: 263–271.)

7.3.2 Kuormanerotin

Rakenteeltaan kuormanerotin on lähellä normaalia suurjännite-erotinta. Erottimeen on lisätty kytkentäveitsien lisäksi kipinäveitset sekä sammutuskammiot. Kuormanerotimia käytetään verkon virrallisten osien toisistaan erottamiseen. Tällainen tulee kyseeseen rengasverkoissa tai verkon haarakohdissa. Kuormaerottimen avaaminen tai sulkeminen tapahtuu myös ohjaimen avulla. (Monni 2005: 39.)

Kuormaerottimen toimintaperiaate on seuraavanlainen. Kuormaerottimen avautuessa aukeavat sen pääveitset ensimmäisinä. Tällöin virta kulkee kipinäveitsien kautta. Hetkeä myöhemmin kipinäveitset avautuvat ja sytyttävät valokaaret sammutuskammioiden sisällä. Tämän jälkeen sammutuskammiot sammuttavat valokaaret ennen kuin kipinäveitset tulevat ulos sammutuskammioista. (Monni 2005: 39.)



Kuva 13. Varokekuormanerotin avokojeistossa

7.3.3 Varokekuormanerotin

Varokekuormanerotin on rakenteeltaan laajennettu kuormanerotin. Siihen on lisätty varokepitimet ja suurjännitesulakkeet, joissa on laukaisunastat. Lisäksi rakennetta on täydennetty laukaisulaitteistolla, joka toimii yhden tai useamman sulakkeen palamisen seurauksena. Varokekuormanerottimessa on estolaite, joka estää erottimen sulkeutumisen, jos kaikki sulakkeet eivät ole ehjiä. Varokekuormanerottimia käytetään kytkinlaitteina ja oikosulkusuojina muun muassa ennen johtohaaraa tai muuntajaa. (Monni 2005: 39.) Kuvassa 13 on vanha varokekuormanerotin.

7.3.4 Maadoituserotin

Maadoituserottimia käytetään muiden erottimien rinnalla. Maadoituserottimen tehtävä on työmaadoittaa jännitteettömäksi tehty johtosuunta tai kiskosto. Maadoituserottimet ovat helpompia ja turvallisempia käyttää verrattuna vanhempiin siirrettäviin ja käsin käytettäviin työmaadoitusvälineisiin. Maadoituserottimen ohjauksien on toimittava siten, että erotinta ei voida kytkeä missään tilanteessa jännitteiseen kiskostoon. On huomionarvoista ymmärtää, että takasyötöstä johtuen voidaan maadoituserottimella työmaadoittaa myös jännitteinen johto. Lisäksi ohjauksilla on varmistettava, että maadoitusveitset pysyvät lukittuina myös vikatilanteissa. Tämä tarkoittaa esimerkiksi sitä, että maadoituserotin ei avaudu oikosulkuvirran vaikutuksesta. (Monni 2005: 39.)

7.4 Katkaisijat

7.4.1 Yleistä

Katkaisijoita käytetään, kun virtapiirin avaaminen tai sulkeminen pitää tehdä kuormittuna. Katkaisijan toinen tehtävä on virtapiirin katkaiseminen oikosulku- tai ylikuormitustilanteessa. Katkaisijat siis toimivat joko käsiohjauksella tai automaattisesti. Ylivirtatilanteesta aiheutunut avautuminen on tavallisin automaattinen katkaisijatoiminto. Tällöin suojarleistys antaa katkaisijalle avautumiskäskyn. Etenkin oikosulku- tai maasulkutilanteessa virtapiirin virta nousee moninkertaiseksi katkaisijan

nimellisvirtaan nähden. Kun katkaisija avataan kuorma päällä, syntyy sen koskettimien välille valokaari, joka pitää sammuttaa. Valokaaren sammuttamiseen käytetään paineilmaa, suojakaasua tai virtaavaa öljyä. Vanhemmissa kytkinlaitoksissa on käytössä paineilma- tai vähäöljykatkaisijoita. Uudempaa tekniikkaa edustavat nykyaikaisissa kojeistoissa käytettävät SF₆-suojakaasu- tai tyhjäkatkaisijat. (Elovaara & Laiho 1999: 245–250.)

7.4.2 Katkaisutapahtuman kulku

Kun katkaisija saa avauskäskyn, alkavat sen koskettimet avautua. Koskettimien avautuessa virtapiiri ei kuitenkaan vielä katkea, vaan se pysyy suljettuna koskettimien väliin syntyneen valokaaren avulla. Valokaari muodostuu koskettimien väliin seuraavalla tavalla:

- Koskettimien avautuessa kosketusvastus kasvaa ja kosketinpinnat lämpenevät.
- Koskettimien irtautuessa toisistaan viimeiset kosketuspisteet sulavat ja niiden välille muodostuu sula metallinen silta.
- Sulametallisilta höyrystyy, minkä seurauksena sen johtavuus pienenee ja tapahtuu läpilyönti.
- Läpilyönti saa metallihöyryn ja sitä ympäröivän väliaineen ionisoitumaan ja muodostuu johtava kaasuplasmakanava.
- Virta pääsee kulkemaan kanavaa pitkin synnyttäen valokaaren koskettimien välille.

Valokaaren rooli on merkittävä virtaa katkaistaessa. Kun virta on suuri, on myös valokaaren johtavuus erittäin hyvä. Tämä mahdollistaa koskettimien avautumisen niin kauas toisistaan, että valokaaren sammussa se ei enää pysty syttymään uudestaan palaavan jännitteen vaikutuksesta. Virran pieneneminen saa aikaan valokaaren resistanssin suurenemisen. Etenkin virran nollakohdassa valokaaren vastus kasvaa erittäin jyrkästi, kun valokaarta jäähdytetään sopivalla tavalla. Lisäksi valokaarta ympäröiväksi väliaineeksi tulee valita ominaisuuksiltaan sellainen aine, että se helpottaa valokaaren sammumista. Vaihtovirtakatkaisijoissa valokaari muuttuu virran nollakohdassa, edellä mainittujen seikkojen vaikutuksesta, johteesta eristeeksi erittäin

nopeasti. Muutoksen pitää tapahtua kuitenkin tarpeeksi joustavasti, sillä virran liian nopean katkeamisen seurauksena syntyy ylijännitevaara. (Elovaara & Laiho 1999: 245–250.)

7.4.3 Katkaisijan ominaisarvot ja valintakriteerit

Katkaisijan merkittävimmät ominaisarvot ovat nimellisvirta sekä nimellisjännite. Näiden lisäksi tärkeitä ominaisuuksia ovat myös katkaisukyky ja sulkemiskyky. Kun katkaisija on kiinni, määräytyy sen jatkuva kuormitettavuus nimellisvirran mukaan. Tällöin kuormitettavuuden ehtona on, että standardin mukaisia lämpöarvoja ei ylitetä. Katkaisijan nimellisjännite kertoo, mikä on katkaisijan suurin sallittu käyttöjännite. Nimellisjännitteen perusteella määritellään katkaisijan eristykselle tarvittavat jännitelujuusvaatimukset. (Elovaara & Laiho 1999: 262–263.)

Katkaisijan merkittävin ominaisuus on kyky avata tai sulkea oikosulkupiiri vaurioitumatta. Näitä toimintoja kuvataan oikosulun katkaisu- ja sulkemiskyvyllä. Suurinta virta-arvoa, jonka katkaisija kykenee nimellisjännitteellään oikosulkutilanteessa katkaisemaan, kuvataan oikosulun katkaisukyvyllä. Kun katkaisijoita valitaan, pitää varmistua siitä, että suurin sallittu käyttöjännite ei ylitä ilmoitettua katkaisukykyarvoa. Sulkemiskyky kertoo virtapiirissä olevan oikosulkuvirran maksimiarvon, jolla katkaisija pystyy sen oikosulkuun sulkemaan ilman, että katkaisijan koskettimen hitsautuvat. Symmetrisen katkaisuvirtaan verrattuna, katkaisukyvyyn pitää olla nimellisjännitteellä 2,5-kertainen. Lisävaatimuksena katkaisijan pitää kestää yhden sekunnin ajan virta I_{term} , mikä on vaihtovirtakomponentin tehollisarvo, sekä epäsymmetrisen oikosulkuvirran aikaan saamat dynaamiset voimavaikutukset. (Elovaara & Laiho 1999: 262–263.)

Edellä mainittujen seikkojen lisäksi on katkaisijaa valittaessa kiinnitettävä huomiota myös seuraaviin asioihin.

- Miten ohjaukset toteutetaan?
- Minkälaisia apukoskettimia tarvitaan?
- Millaiset ovat ohjaimen varusteet?
- Mikä on sen mekaaninen luotettavuus?

- Mikä on katkaisijan asennustapa?
- Millainen on jälleenkytkentäautomaatiikka?
- Mikä on katkaisijan huollontarve ja huoltokustannukset?

7.5 Katkaisijatyypit

Katkaisijoita on olemassa monenlaisia. Yleensä ne jaotellaan katkaisukammiossa käytettävän väliaineen perusteella seuraavasti:

- ilmakatkaisijat
- öljykatkaisijat
- vähäöljykatkaisijat
- paineilmakatkaisijat
- SF6-kaasukatkaisijat
- tyhjökatkaisijat.

Katkaisijatyypit ovat lueteltu niiden teknisen kehityksen mukaan kronologisessa järjestyksessä. Siirtojännitteiden ja kuormitus- sekä vikavirtojen kasvu viime vuosikymmenien aikana on ollut merkittävin syy katkaisijatekniikan kehitykseen. Kehityksen tuloksena katkaisijoiden fyysiset mitat ovat pienentyneet tuntuvasti, ja samaan aikaan niiden katkaisukyky on kasvanut merkittävästi. 1970- ja -80 -luvulla katkaisijatekniikassa tapahtui kuitenkin selkeä muutos, minkä seurauksena SF6- ja tyhjökatkaisijoiden käyttö kasvoi voimakkaasti. Vielä nykyäänkin on kaikkia edellä mainittuja katkaisijatyyppejä käytössä. Suurjännite puolella käytetään tänä päivänä lähes yksistään SF6-katkaisijoita mutta keskijännitepuolella on kilpailua eri katkaisijatyypien välillä. Keskijännitealueen yleisimmät katkaisijatyypit ovat SF6-, vähäöljy- sekä tyhjökatkaisija. Tässä työssä keskitytään keskijännitealueen katkaisijoihin. (Elovaara & Laiho 1999: 250–251.)

7.5.1 SF6-katkaisijat

SF6-katkaisijan katkaisukoskettimet on sijoitettu tiiviiseen koteloon, joka on täytetty SF6-suojakaasulla. Koska koskettimet ovat ilmatiiviissä koteloissa ja ne eivät joudu

kosketuksiin ilman kanssa, ei niiden pinnalle pääse muodostumaan oksidikerrostumia. Tällä SF6-suojakaasulla eli tarkemmin sanottuna rikkiheksafluoridilla on erinomainen jännitelujuus. Sen jännitelujuus on kolminkertainen verrattuna saman paineiseen ilmaan nähden. Se sammuttaa katkaisuvalokaaren erittäin nopeasti ja tehokkaasti. Suojakaasu on palamatonta ja myrkytöntä. SF6-kaasu ei myöskään ajan saatossa menetä hyviä ominaisuuksiaan, ja näin ollen suojakaasua ei tarvitse juuri koskaan vaihtaa. (Monni 2005: 40.)

SF6-katkaisijan toiminnassa on luonteenomaista palamattomuus ja suuri valokaaren jäähdytyskyky. Lisäksi sillä on parempi palaavan jännitteen kestokyky ja siitä johtuva suurempi katkaisuteho kuin muilla kilpailevilla katkaisijatyypeillä. Tärkeimpiä SF6-katkaisijan ominaisuuksia keskijännitealueella ovat palamattomuus, pienet katkaisuylijännitteet sekä vähäinen huollon tarve. Lisäksi, kun toimitaan keski-jännitealueella, SF6-katkaisijan kuoret voidaan valmistaa valuhartsista ja kaikki jännitteiset osat on mahdollista suojata. Tämä mahdollistaa erittäin pienet ja sen ansiosta nykyaikaiset kojeistot ovat erittäin pienikokoisia vanhoihin verrattuna. (Elovaara & Laiho 1999: 259–260.)

SF6-katkaisijoiden mekaaninen ikä liikkuu noin 5 000...10 000 toimintakerrassa. Katkaisukoskettimet kestävät nimellisvirralla useita tuhansia katkaisukertoja sekä täydellä oikosulkuvirralla noin 10...20 katkaisukertaa. SF6-keskijännitekatkaisijoita ohjataan tavallisesti moottori- tai käsiviritteisillä jousiohjaimilla. (Elovaara & Laiho 1999: 259–260.)

Ensimmäiset SF6-katkaisijat toteutettiin kaksi paine tekniikalla, jossa katkaisun tapahtuessa kaasu ohjataan korkeapaineosasta matalapaineosaan. Niiden ongelmana oli monet tarvittavat apuvälineet ja se hidasti SF6-katkaisijoiden yleistymistä. Vasta kun siirryttiin uuteen yksipainetekniikkaan, alkoi SF6-katkaisijoiden yleistyminen todenteolla. Tässä toimintamallissa paine-ero ja kaasun virtaus saadaan aikaan liikkuvaan katkaisukoskettimeen kytketyllä mäntä-sylinteri-järjestelmällä. Tämä ns. autopneumaattinen periaate vaatii kuitenkin suuren ohjausenergian, mikä heikensi aluksi SF6-katkaisijoiden kilpailukykyä muihin katkaisijatyyppeihin nähden etenkin keskijännitealueella. Tämän seurauksena kehitystyö jatkui ja syntyi uudenlainen SF6-katkaisija, joka pystyy ottavat tarvittavan valokaaren sammutusenergian suoraan katkaistavasta

virrasta. Se tapahtuu pyörittämällä valokaarta virran itsensä synnyttämän magneettikentän avulla. Valokaaren aiheuttama suojakaasun paineen kohoaminen voidaan myös hyödyntää valokaarta jäähdyttävän kaasun riittävän virtauksen aikaansaamisessa. Edellä mainituilla toimenpiteillä on SF₆-keskijännitekatkaisijoiden katkaisuenergian tarve saatu pienemmäksi kuin vastaavissa vähäjännitekatkaisijoissa. (Elovaara & Laiho 1999: 259–260.)

SF₆-katkaisijoissa havaittuja ongelmia ovat mm. olleet

- valokaaren seurauksena syntyneet myrkylliset yhdisteet
- kosteuden kanssa korroosiota aiheuttavat yhdisteet
- suojakaasun nesteytyminen kylmissä olosuhteissa
- suuri ohjausenergian tarve, etenkin yli 100kV jännitteillä
- tiivisteistä aiheutuneet ongelmat erittäin kylmissä lämpötiloissa (–40 C...–50 C).

Kosteus ja kaasun hajoamistuotteina syntyvät haitalliset yhdisteet voidaan eliminoida laittamalla katkaisijan sammutuskammion pohjalle sopivaa absorptioainetta. Suojakaasuna käytettävän rikkiheksafluoridin nesteytyminen voidaan estää sekoittamalla siihen typpeä. Näin syntyneen kaasuseoksen ominaisuudet ovat samaa luokkaa kuin puhtaalla SF₆-kaasulla. Toisin sanoen käytettäessä suojakaasuna rikkiheksafluoridin ja typen muodostamaa kaasuseosta, säilyy katkaisijan katkaisuteho kuitenkin lähes muuttumattomana. Suomen olosuhteissa katkaisijan luotettava toiminta edellyttää myös nopeista lämpötilanmuutoksista aiheutuvien paineenmuutoksien seuranta katkaisupilarissa. (Elovaara & Laiho 1999: 259–260.)

SF₆-katkaisijat ovat monipuolisia katkaisijoita, jotka soveltuvat lähes joka tilanteeseen. Kuitenkin palaavan jännitteen jyrkkyyteen tulee kiinnittää erityistä huomiota esim. muuntajan syöttämän vikavirran katkaisussa. Erityisesti SF₆-katkaisija sopii kompensointilaitteiden katkaisijaksi, koska se pystyy katkaisemaan nimellisvirtansa useita tuhansia kertoja ilman huoltoa. Myös jälleensyttymättömyys sekä sysäysvirtakestoisuus ovat ominaisuuksia, jotka tekevät SF₆-katkaisijasta erinomaisen rinnakkaiskondensaattoriparistojen katkaisijan. (Elovaara & Laiho 1999: 259–260.)

7.5.2 Vähäöljykatkaisija

Vähäöljykatkaisijat ovat suunniteltu siten, että jokaisella vaiheella on oma sammutuskammionsa. Vähäöljykatkaisijan napojen öljymäärä on näin saatu merkittävästi pienemmäksi kuin vanhempaa tekniikkaa edustavissa öljykatkaisijoissa. Ulkoisen eristyksen aikaan saamiseksi, sammutuskammiot on asennettu eristimien varaan. Avatun vähäöljykatkaisijan koneisto näkyy kuvassa 14.



Kuva 14. Katkaisijan koneisto on avattu huollon yhteydessä

Vähäöljykatkaisijassa valokaaren sammutus tapahtuu seuraavasti:

- Valokaaren seurauksena katkaisukammiossa oleva öljy alkaa höyrystyä.
- Höyrystyminen synnyttää kammioon suuren, jopa 10 MPa:n paineen.
- Paineen vaikutuksesta kammion öljyyn syntyy virtauksia.
- Syntynyt virtaus sammuttaa valokaaren.

Katkaisuöljyn virtauksen määrään vaikuttaa kammiopaineen suuruus sekä sammutuskammion sisäinen muotoilu. Lisäksi virtaukseen voidaan vaikuttaa erilaisilla öljyn virtausta tehostavilla pumppauslaitteilla. Öljyn virtaus pyritään ohjaamaan suoraan valokaaren suuntaan tai poikittain sitä vastaan. Pumpatun öljyn merkitys on suurin silloin, kun katkaistaan pieniä virtoja, koska silloin painevaikutus on vähäisintä. Vähäöljykatkaisijan koskettimien liike saadaan aikaan jousien avulla. Siinä on omat erilliset jouset sekä avaus- että sulkemisliikettä varten. Vähäöljykatkaisijan viritys tapahtuu tyypillisesti moottorin avulla, eli yleisin ohjaustapa on moottorijousiohjaus. Kun katkaistava virta on kapasitiivista, voidaan jälleen syttymättömyyttä parantaa pitämällä katkaisukammio koko ajan paineistettuna typen avulla. (Elovaara & Laiho 1999: 254–255.)

Vähäöljykatkaisijoita on saatavilla lähes kaikille jännitteille ja katkaisuvirroille asti. Kuitenkin niiden pääasiallinen käyttöalue on ollut 7,2...123 kV:n jännitteillä sekä kohteissa, joissa kytkentätiheys ja oikosulkuvirrat ovat kohtalaisella tasolla. (Elovaara & Laiho 1999: 254–255.)

7.5.3 Tyhjökatkaisijat

Tyhjökatkaisijat ovat rakenteeltaan erittäin yksinkertaisia muihin katkaisijatyyppeihin verrattuna. Kaikessa yksinkertaisuudessaan katkaisijassa on vain kiinteä ja liikkuva kosketin, jotka on sijoitettu tyhjösäiliöön. Kun koskettimet irtoavat toisistaan, ei valokaari jää palamaan ionisoituneeseen kaasuun, kuten muissa katkaisijoissa. Tyhjökatkaisijassa valokaari jää palamaan kosketinpinnoista höyrystyneeseen metallipilveen. Valokaari sammuu, kun virran nollakohdassa metallipilven ionisaatio katoaa ja itse höyry tiivistyy. Katkaisuprosessi on erittäin nopea, minkä ansiosta palaavan jännitteen muoto tai jyrkkyys ei olennaisesti vaikuta tyhjökatkaisijan katkaisukykyyn. Tyhjän erinomaisien jännitelujuusominaisuuksien ansiosta tarvitaan vain noin 5 mm...15 mm:n avausväli, että saavutetaan riittävän suuri jännitelujuus. Kosketinpinnoilla käytettävät elektrodiaineet ovat tärkein yksittäinen vaikuttava tekijä, mikä vaikuttaa valokaaren syntymiseen, palamiseen ja sammumiseen. Niiden mukaan määräytyy mm. höyrystymispiste sekä terminen johtavuus. (Elovaara & Laiho 1999: 260–262.)

Tyhjökatkaisijan kuorirakenteen tulee olla luonnollisesti ehdottoman tiivis. Tämän ehdottoman tiiviyn saavuttamiseksi tyhjökatkaisijoissa käytetään keraamisia eristimiä, koska ne voidaan kova juottaa yhteen metalliosien kanssa ja vältetään samalla tiivisteistä aiheutuvat ongelmat. Tyhjökatkaisija on käyttäjän kannalta hyvin samantapainen kuin vastaavat konventionaaliset katkaisijat. Tavallisesti ne suunnitellaan siten, että ne ovat vaihdettavissa saman valmistajan vastaavaan vähäöljykatkaisijaan Euroopassa ja öljykatkaisijaan USA:ssa. Yleensä tyhjökatkaisijan ohjaukseen käytetään moottorijousiohjainta. (Elovaara & Laiho 1999: 260–262.)

Katkaisijan sekä ohjaimen mekaaninen käyttöikä on noin 10 000...30 000 toimintakertaa. Itse katkaisuyksikön sähköinen elinikä on 10 000...20 000 toimintakertaa nimellisvirralla ja 20...100 toimintakertaa täydellä oikosulkuvirralla. Katkaisuyksikkö on rakenteeltaan sellainen, ettei sitä tavallisesti pystytä huoltamaan. Tyhjökatkaisijan erinomaisien ominaisuuksien ansiosta ei huolloille tavallisesti ole edes tarvetta. Tyhjökatkaisija onkin taloudellisesti erittäin kilpailukykyinen juuri sen huoltovapauden takia. Ainoa huoltotoimenpide on ohjaimen voitelu määräajoin. Voitelu suositellaan tehtäväksi noin kymmenen vuoden välein. (Elovaara & Laiho 1999: 260–262.)

Tyhjökatkaisijoiden valmistus on painottunut pääasiassa keskijännitealueelle. Parhaiten tyhjökatkaisija soveltuu tilanteisiin, joissa vaaditaan keskinkertaista katkaisukykyä sekä suurta kytkentätiheyttä. (Elovaara & Laiho 1999: 260–262.)

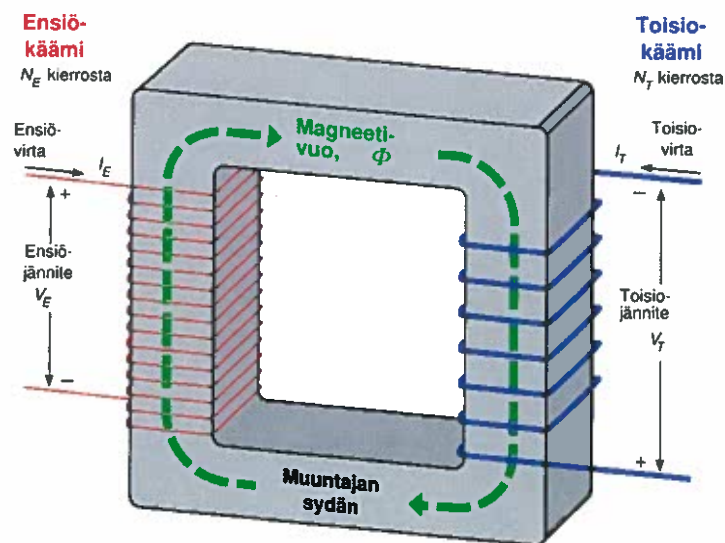
7.6 Mittamuuntajat

7.6.1 Yleistä

Mittamuuntajat ovat erikoisrakenteisia jännitteen ja virran mittaukseen tarkoitettuja muuntajia. Mittamuuntajia käytetään pääasiallisesti seuraaviin tarkoituksiin:

- mittauspiirin eristämiseen suurjännitteisestä päävirtapiiristä
- mitta-alueen muuttamiseen mittareille ja releille sopivaksi
- mittauspiirin suojaamiseen ylikuormitukselta
- mahdollistaa mittareiden ja releiden sijoittamisen kauaksi varsinaisesta mittauspaikasta.

Mittamuuntajien toiminta perustuu pääasiassa sähkömagneettiseen induktioon. Muuntajan toimintaperiaate on esitetty kuvassa 15. Mittamuuntajien ominaisuuksia voidaan tarkastella ns. ideaalimuuntajamallin avulla. Ideaalisen virtamuuntajan toisiokäämi on oikosuljettu ja ideaalisen jännitemuuntajan toisio-käämi on tyhjäkäynnillä eli avoin. Ideaali tilanteessa muuntajan impedanssit ovat nolliä sekä raudan permeanssi on ääretön. Näiden perusteella voidaan kirjoittaa ideaalimuuntajalle muuntosuhdeyhtälöt seuraavasti: (Elovaara & Laiho 1999: 198–224.)



Kuva 15. Muuntajan toimintaperiaate

Muuntosuhdeyhtälö ideaaliselle virtamuuntajalle, jonka toisio on oikosuljettu.

$$\frac{I_p}{I_s} = \frac{N_s}{N_p} = K_n,$$

- jossa I_p on ensiövirran tehollisarvo
 I_s on toisiovirran tehollisarvo
 N_s on toisiokäämin johdinkierrosluku
 N_p on ensiökäämin johdinkierrosluku
 K_n on ideaalinen virtamuuntosuhde

Muuntosuhdeyhtälö ideaaliselle jännitemuuntajalle, jonka toisio on tyhjäkäynnillä.

$$\frac{U_p}{U_s} = \frac{N_p}{N_s} = K_n,$$

- jossa U_p on ensiöjännitteen tehollisarvo
 U_s on toisiojännitteen tehollisarvo
 N_p on ensiökäämin johdinkierrosluku
 N_s on toisiokäämin johdinkierrosluku
 K_n on ideaalinen jännitemuuntosuhde

Mittamuuntajilta vaaditaan, että ne kykenevät muuntamaan mitatun suureen, virran tai jännitteen, mahdollisimman tarkasti. Todellisuudessa mittaustuloksiin vaikuttavat kuitenkin sekä tyhjäkäyntivirrat että käämitysten hajaimpedanssit. Nämä aiheuttavat mittauksiin vääristymiä ja ne ilmenevät mittamuuntajien virta-, jännite- ja kulmavirheinä. (Elovaara & Laiho 1999: 198–224.)

7.6.2 Virtamuuntajien ominaisuudet

Virtamuuntajien ominaisuudet on jaettu IEC-standardissa 60044-1 käyttötarkoituksen mukaan kahteen luokkaan. Nämä luokat ovat mittaustarkoituksiin valmistetut sekä suojaustarkoituksiin valmistetut virtamuuntajat. Erilaisien käyttötarkoituksiensa takia, suojausvirtamuuntajien mitoitus ja niille asetetut vaatimukset poikkeavat selvästi mittausvirtamuuntajien vastaavista. Kuvan 16 vasemmassa reunassa näkyvät kojeiston mittamuuntajat. (Elovaara & Laiho 1999: 198–224.)



Kuva 16. Keskijännitekojeiston mittauskenno

Virtamuuntajien kummallekin luokalle on määritelty sekä *virtavirhe* että *kulmavirhe*. Virtavirheellä tarkoitetaan sitä virran arvoa, minkä mitattu toisiovirta eroaa tyhjäkäynti-virrattoman ideaalimallin teoreettisesta virran arvosta. Kulmavirhe kertoo puolestaan ensiö- ja toisiovirtojen osoittimien välisen kulmaeron. Kulmavirhe on positiivinen, jos toisiovirran osoitin on ensiövirran osoitinta edellä. Virtamuuntajan *taakalla* tarkoitetaan toisiopiirin impedanssia ja sen tehokerrointa. Taakka ilmoitetaan yleensä näennäistehona. Tämän lisäksi virtamuuntajille on vielä määritelty muita käsitteitä, joiden käytön määrää se, käytetäänkö virtamuuntajaa mittaukseen vai suojaukseen. (Elovaara & Laiho 1999: 198–224.)

Virtamuuntajille on standardissa määritelty *tarkkuusluokat*. Tarkkuusluokan valinta tehdään mitattavan kohteen perusteella. Kovimmat vaatimukset asetetaan yleensä energian mittaukselle. Tällöin tarkkuusluokan tulee olla 0,5 tai pienempi. Valvontamittauksissa käytetyt tarkkuusluokat ovat tyypillisesti 1 tai 3 ja suojauksessa käytetään tarkkuusluokkaa 10 P. (Elovaara & Laiho 1999: 198–224.)

7.6.3 Huomioita virtamuuntajien käytöstä

Virtamuuntajilla on standardoidut liitinmerkinnät. Ensiöpuolta merkitään P kirjaimella ja toisiopuolta S kirjaimella. Normaalitylanteessa, missä virtamuuntajan toisiopuoli on oikosuljettuna, on toisiopiirin napojen välinen jännite pieni. Jos toisio avataan, nousee sen liittimien välinen jännite nopeasti erittäin suureksi, jopa kilovolteihin asti. Tämän takia verkkoon kytketyn virtamuuntajan toisiopiiriä ei koskaan saa avata eikä sijoittaa varoketta liittimien väliin. Virtamuuntajien toisiopuoli on aina maadoitettava toisesta navastaan. (Elovaara & Laiho 1999: 198–224.)

7.6.4 Jännitemuuntajien ominaisuudet

Jännitemuuntajien ominaisuudet on esitetty IEC:n standardissa 60044–2. Myös jännitemuuntajat jaetaan kahteen ryhmään käyttötarkoituksen perusteella. Ne ovat mittaukseen ja suojaukseen tarkoitettuja jännitemuuntajia. Kaikille jännitemuuntajille on määritelty jännite- ja kulmavirhe. Jännitevirhe F_u saadaan laskemalla yhtälöstä: (Elovaara & Laiho 1999: 198–224.)

$$F_u = \frac{k_n U_s - U_p}{U_p} * 100\%$$

jossa K_n on jännitemuuntajan mitoitusmuuntosuhde

U_s on toisiojännitteen tehollisarvo

U_p on ensiojännitteen tehollisarvo

Jännitemuuntajien kulmavirhe on määritelty analogisesti virtamuuntajien kanssa. Kulmavirheellä tarkoitetaan ensio- ja toisiojännitteiden osoittimien välistä kulmaeroa.

Tämän lisäksi jännitemuuntajille on määritelty mitoitusjännitekerroin k_R . Se kertoo suurimman sallitun käyttötaajuuden ensiöjännitteen, jonka jännitemuuntaja kestää tietyn ajan termisesti. Suojaustarkoituksiin valmistettujen jännitemuuntajien pitää pysyä tarkkuusluokassaan mitoitusjännitekertoimen edellyttämään jännitetasoon asti. (Elovaara & Laiho 1999: 198–224.)

Jännitemuuntajan mitoitusjännite valitaan verkon nimellisjännitteen mukaiseksi. Vaiheiden väliin kytketyn ensiökäämin mitoitusjännite on pääjännite. Jos ensiökäämi on kytketty vaiheen ja tähtipisteen tai tähtipisteen ja maan väliin kutsutaan mitoitusjännitettä tällöin vaihejännitteeksi, joka on esimerkiksi $20000:\sqrt{3}$ V. Suomessa toisiöjännitteenä on yleisesti käytetty 100 V, kun ensiökäämi on kytketty kahden vaiheen väliin tai verkon tähtipisteen ja maan väliin. Suositeltava mitoitusjännite toisiökäämille on $100:\sqrt{3}$ V, kun ensiöpuoli on kytketty vaiheen ja maan väliin ja $100:3$ V avokolmiokytkennässä. Muuntosuhde merkintöjä tulkitaan seuraavasti: (Elovaara & Laiho 1999: 198–224.)

- $20000/100$ V = ensiökäämi vaiheiden välissä ja toisiopuolella on mittauskäämi
- $20000:\sqrt{3}/100:\sqrt{3}/100:3$ V = ensiökäämi on maan ja vaiheen välissä ja toisiopuolella on sekä mittaus- että avokolmiökäämi
- $20000:\sqrt{3}/100$ V = ensiökäämi on esim. tähtipisteen ja maan välillä ja toisiopuolella on ainoastaan suojauskäämi.

Jännitemuuntajan mitoitusteholla eli taakalla tarkoitetaan toision mitoitustehoa vastaavaa näennäistehoa. Standardin mukaiset mitoitustehot on määritelty välille 10–500 VA. Avokolmioon kytketyn käämin mitoitus toisioteho ilmoitetaan muodossa S:3, jossa S on kolmen muuntajan yhteisteho. (Elovaara & Laiho 1999: 198–224.)

7.6.5 Huomioita jännitemuuntajien käytöstä

Jännitemuuntajille on standardoitu liitinmerkinnät. Liitinmerkintä isoilla kirjaimilla tarkoittaa ensiökäämiä ja vastaavasti pienillä kirjaimilla viitataan toisiopuoleen. Kun käytetään liitin tunnuksia N ja n, tarkoitetaan niillä kolmivaihe ryhmän tähtipistettä.

Avokolmiokytkentään tarkoitettujen käämien liitinmerkintöinä käytetään da ja dn. (Elovaara & Laiho 1999: 198–224.)

Jännitemuuntajan suojaus voidaan toteuttaa varokkeilla mutta silloin pitää muistaa, että maadoitettuun liittimeen ei saa laittaa varoketta. Koska jännitemuuntajien käämeillä on yhteinen sydän, vaikuttaa yhden käämin kuormitus muiden käämien mittausrvirheen suuruuteen. (Elovaara & Laiho 1999: 198–224.)

Sähköverkon maasulkutilanteen ilmaiseminen voidaan toteuttaa virta- tai jännitemuuntajien avulla. Yleinen menetelmä maasulkutilanteiden ilmaisuun on virtamuuntajien summakytkennän käyttö. Ilmaisua voidaan toteuttaa myös jännitemuuntajien avulla, mittaamalla verkon nollapisteen jännite. Tällöin jännitemuuntajan ensiön tähtipisteen maadoittamisella on ratkaiseva merkitys. Nollapisteen mittaamiseen käytetään yksivaihemuuntajista tehtyä avokolmiokytkentää. Jokaisessa yksivaihemuuntajassa on kolme käämiä. normaali jännitemittaus tehdään tähtikytketyssä toisiossa. Maasulun ilmaisussa käytetään avokolmioon kytkettyjä tertiäärikäämejä. (Elovaara & Laiho 1999: 198–224.)

standardissa SFS 6001 vaaditaan, että mittamuuntajien, sekä virta- että jännitemuuntajien, toisiopiireihin tulee tehdä käyttömaadoitus. Jännitemuuntajien toisiopuolen maadoittamisella suojaudutaan ensiö- ja toisiokäämitysten välisiä eristysvikoja vastaan. (Elovaara & Laiho 1999: 198–224.)

7.6.6 Jännitemuuntajan kippivärähtely eli ferroresonanssi

Resonanssiylijännitteet ovat matalataajuisia ja pitkäkestoisia ylijännitteitä. Niiden energiasisältö on suuri, toisin kuin ilmastollisilla ylijännitteillä, eivätkä ylijännitesuojat pysty vaimentamaan niitä tuhoutumatta. Tyypillisimpiä resonanssiylijännitteiden aiheuttajia ovat tehoelektronikan laitteet, jotka syöttävät yliaaltovirtoja verkkoon. Rautaa sisältävän magneettiipiirin synnyttämä niin kutsuttu ferroresonanssi voi myös aiheuttaa käyttötaajuisia ylijännitteitä. Tavallisesti magneettiipiirinä tällöin toimii jännitemuuntajan rautasydän. (Aura & Tonteri 1993: 247–250.)

Yksinapaisesti maadoitetun induktiivisen jännitemuuntajan ja verkon kapasitanssin välille voi syntyä resonanssivärähtelyä, jota kutsutaan kippivärähtelyksi. Värähtely voi aiheuttaa ylilyöntejä ja mahdollisesti myös tuhota jännitemuuntajan, siihen kohdistuvan termisen ylikuormituksen seurauksena. Seuraavanlaiset tapahtumat ovat luonteenomaisia kippivärähtelylle (Aura & Tonteri 1993: 247–250):

- Värähtely alkaa äkillisesti, jonkin kytkentätoimenpiteen seurauksena.
- Värähtely lakkaa, kun piiriin kytketään lisää johtimia.
- Vaihejännitteet ovat voimakkaasti vääristyneitä vaikka pääjännitteet ovat sinimuotoisia.
- Jännitemuuntaja tuhoutuu, ellei värähtely lakkaa.
- Värähtely esiintyy yleisimmin 50 Hz:n verkkotaajuudella, mutta myös harmonisilla ali- ja ylitaajuuksilla.

Kippivärähtelyn vaimentamiseksi paras ratkaisu on avokolmioon kytkettävä vaimennusvastus. Vaimennusvastuksen mitoituksessa on kiinnitettävä huomiota siihen, ettei jännitemuuntajan termistä kuormitettavuutta ylitetä maasulkutilanteessa. Vastuksen koko määräytyy käytettävän jännitemuuntajatyypin perusteella. Esimerkiksi 12 kV:n ja 24 kV:n jännitemuuntajien kanssa suositellaan käytettäväksi 450 W:n vaimennustehoa. Tämä tarkoittaa sitä, että avokolmiokäämin jännitteellä 100:3 V vaimennusvastukseksi saataisiin $22\ \Omega$. vaimennusvastus saadaan laskettua yhtälöstä (ABB:n TTT-käsikirja 2007):

$$W = U * I = U * \frac{U}{R} = \frac{U^2}{R} \Rightarrow R = \frac{U^2}{W} = \frac{100V^2}{450W} \approx 22\Omega$$

7.7 Ylijännitesuojaus

7.7.1 Yleistä

Ylijännitesuojauksen tarkoituksena on rajoittaa verkossa esiintyviä ylijännitteitä sellaiselle tasolle, etteivät ne aiheuttaisi sähkön käytössä häiriöitä tai katkoksia. Lisäksi

ylijännitesuojien tehtävänä on estää laitoksen tärkeitä ja usein myös erittäin kalliita laitteita, kuten muuntajat, vaurioitumasta. (Elovaara & Haarla 2011: 11–41.)

7.7.2 Ylijännitteiden luokittelu

Ylijännitesuojaukseen käytettävät suojausmenetelmät määräytyvät ylijännitelajin perusteella. Ylijännitteet jaetaan pientaajuisiin ylijännitteisiin, loiviin transientti-ylijännitteisiin sekä jyrkkiin transienttiyljännitteisiin. (Elovaara & Haarla 2011: 11–41.)

Pientaajuiset ylijännitteet syntyvät yleensä sähköverkossa tapahtuvan tilanmuutoksen seurauksena. Yleisin pientaajuisen ylijännitteen aikaansaama tilanne on yksivaiheinen maasulku. Muita pientaajuisen ylijännitteiden aiheuttajia ovat kuorman kytkeytyminen irti verkosta, resonanssit ja ferroresonanssit, vajaanapainen toiminta tai katkos sekä generaattoreiden itseherätys. Ainoastaan pientaajuiset ylijännitteet ovat jaksollisia ja pidempikestoisia ylijännitteitä. Näihin käyttötaajuisiin ylijännitteisiin pystytään parhaiten vaikuttamaan hyvällä sähköverkon ja sen käytön suunnittelulla. (Elovaara & Haarla 2011: 11–41.)

Loivat transienttiyljännitteet syntyvät myös usein verkossa tapahtuvan tilanmuutoksen seurauksena. Tällaisia tilanmuutoksia voivat aikaansaada esimerkiksi vikatilanteet, joita ovat oiko- ja maasulku, kuorman irtikytkeminen tai epätahtitila. Myös suoritettavat kytkentätoimenpiteet, virtapiirin avaaminen tai sulkeminen, voivat synnyttää tällaisia tilanmuutoksia. (Elovaara & Haarla 2011: 11–41.)

Jyrkät transienttiyljännitteet syntyvät yleensä salamaniskun seurauksena. Salamanisku voi aikaansaada sähköverkkoon ylijännitteitä kolmella eri tavalla. Tämä voi tapahtua indusoitumalla, johdon maadoitukseen osuneen salaman aiheuttaman takaiskun kautta tai suoralla salamaniskulla jännitteeseen johtimeen. (Elovaara & Haarla 2011: 11–41.)

7.7.3 Venttiilisuojat

Ylijännitesuojauksella pyritään rajoittamaan sähköverkossa esiintyvien ylijännitteiden suuruudet niin alhaisiksi, että ne eivät vaurioita laitteita eivätkä aiheuta häiriöitä

verkon käytössä. Tehokkaimmin ylijännitteiltä voidaan suojautua käyttämällä venttiilisuoja, jotka ovat kytketty suojattavan laitteen rinnalle. Yleensä suojat asennetaan vaiheen ja maan väliin, mutta joskus syntyy tilanteita, jossa ne joudutaan kytkemään vaiheiden väliin. Sähköverkoissa käytettäviä venttiilisuoja on kolmea eri tyyppiä. Ne ovat levykipinävälisuoja, magneettipuhallussuoja sekä kipinävälittömät venttiilisuoja. Edellä mainituista vaihtoehdoista jälkimmäinen on ehdottomasti yleisin ja nykyisin tarjolla onkin lähes poikkeuksetta kipinävälittömiä metallioksidisuoja. Nämä uudet metallioksidisuoja ovat rakenteeltaan varsin yksinkertaisia verrattuna edeltäjiinsä. Metallioksidisuoja tulevat syrjäyttämään edeltäjänsä kaikilla jännitealueilla kilpailukykyisen hintansa sekä erinomaisien teknisien ominaisuuksiensa takia. (Elovaara & Haarla 2011: 11–41.)

Levykipinävälisuojaassa on kipinävälejä sarjassa epälineaaristen piikarbidi-vastuksien kanssa. Ne ovat suljettu hermeettisesti posliinikuoreen. Näissä suojaissa olevat kipinävälit määräävät syttymisjännitteen. Lisäksi ne suojaavat piikarbidi-elementtejä tuhoutumiselta jatkuvan käyttöjännitteestä johtuvan vuotovirran sekä siitä johtuvan termisen rasituksen takia. Epälineaaristen vastuksien tehtävänä on rajoittaa kipinäväliden toiminnasta aiheutuva maasulkuvirta niin pieneksi, että se saa valokaaren sammumaan itsestään jännitteen nollassa. Tämän tyyppisten venttiilisuojaiden energianpurkamiskyky on melko alhainen. Tämän takia niitä on voitu käyttää lähinnä ukkosylijännitteiden rajoittamiseen. (Elovaara & Haarla 2011: 11–41.)

Magneettipuhallussuojaat eivät ole rakenteeltaan yhtä yksinkertaisia kuin levykipinävälisuojaat. Näissä aktiivisilla kipinäväleillä varustetuissa venttiili-suojaissa on kipinäväliden ja purkausvastuksien kanssa sarjassa puhalluskämejä ja ohitusvastuksia. Transienttiylijännite saa aikaan suuritaajuuden purkausvirran, joka kulkee ohitus- ja purkausvastuksien kautta. Suuritaajuuden virran takia, valokaaren palaminen jää lyhyeksi kipinäväliden elektrodien välissä. Tämän jälkeen pieni-taajuinen jälkivirta siirtyy ohitusvastuksilta puhalluskämeille. Jälkivirta aiheuttaa käänissä magneettikentän, joka puhaltaa valokaaren pitemmäksi. Tämän seurauksena valokaarijännite kasvaa ja se puolestaan aiheuttaa jälkivirran pienenemisen siten, että purkausvirran aiheuttama valokaari sammuu jo huomattavasti ennen jännitteen nollassa. Tämä suoja sopii myös tasajännitteellä toimiviin ylijännitesuojaan, koska valokaaren sammuminen ei edellytä jännitteeltä nollassa. (Elovaara & Haarla 2011: 11–41.)

Viime vuosikymmenien aikana venttiilisuojatekniikassa on tapahtunut selvä murros, jossa kipinävälittömät metallioksidiventtiilisuojat ovat syrjäyttäneet aiemmin käytössä olleet kipinävälilliset edeltäjänsä käytännössä kaikilla jännitetasoilla. Metallioksidisuoja muodostuu joukosta sylinterimäisiä metallioksidielementtejä, jotka on ladottu päällekkäin. Elementit on suljettu posliinista tai polymeeristä valmistettuihin eristinkuoriin. Saman kuoren sisään voidaan hermeettisesti sulkea useita rinnakkaisia vastuspilareita. Tällä tavalla suojan energianpurkamiskyky saadaan suuremmaksi. Polymeerikuoren hyviä puolia ovat sen keveys ja pienempi alttius mekaanisille vaurioille. Lisäksi sen kuori ei pirstoudu suojassa tapahtuvan sisäisen ylilyönnin seurauksena. Silikonipinnoitteen eduksi luettakoon vielä sen parempi kosteuden ja likaisuuden sietokyky. (Elovaara & Haarla 2011: 11–41.)

Epälineaarinen vastus on valmistettu pääasiassa sinkkioksidista (ZnO). Sinkkioksidimassaan lisätään valmistuksen yhteydessä vähäisiä määriä muita metallioksidgeja, jotka vaikuttavat vastuksen sähköisiin ominaisuuksiin. Muut metallioksidit kerääntyvät sinkkioksidihippujen ympärille ja niillä on vaikutusta etenkin suojan syttymisvaiheen tapahtumiin. Jotta ylijännitesuoja toimisi halutulla tavalla, on jännitteenjakautuminen suojan yli saatava mahdollisimman lineaariseksi. Tämä on tärkeää etenkin silloin, kun ylijännitesuoja koostuu useasta osasta. Asian varmistamiseksi suojan jännitteen puoleinen pää varustetaan ohjauselektrodilla, joka ohjaa jännitteenjakautumista kapasitiivisesti. (Elovaara & Haarla 2011: 11–41.)

Kipinävälittömän metallioksidisuojan siirtyminen johtavuustilaan tapahtuu pehmeästi ilman syttymisjännitepiikkiä. Sinkkioksidielementin virta-jänniteominaiskäyrä on erittäin epälineaarinen. Pienillä virroilla vastuksessa kulkeva virta on resistiivis-kapasitiivista. Tällöin ominaiskäyrä on määriteltävä tasavirtamittauksella. Siten saadaan eliminoitua mittaustulosta häiritsevä kapasitiivinen komponentti. (Elovaara & Haarla 2011: 11–41.)

Metallioksidisuojilla on eräs merkittävä ominaispiirre. Pienillä virroilla sinkkioksidivastuksella on negatiivinen lämpötilakerroin. Tämä tarkoittaa sitä, että lämpötilan kasvaessa sen vastus pienenee. Toisin sanoen, lämpötilan nousu saa aikaan vastuksen läpi kulkevan vuotovirran kasvamisen. Tämä puolestaan lisää lämpötilaa, joka taas lisää entisestään vuotovirran määrää. Jos suojan jäähtyminen on riittämätöntä purettavaan

energiaan nähden, joudutaan tilanteeseen, missä purkausvirta kasvaa jatkuvasti. Tämä johtaa lopulta vastuselementin termiseen läpilyöntiin. Vastuselementin jäähdytys pitää tämän takia mitoittaa sellaiseksi, ettei ylikuumentuminen aiheuta termistä läpilyöntiä ja suojan tuhoutumista. Suurilla virroilla vastuksen lämpötilakerroin on positiivinen. (Elovaara & Haarla 2011: 11–41.)

Metallioksidisuojiin tärkeimmät ominaisuudet ovat jatkuva käyttöjännite, käyttötaajuuden ylijännitteen sietokyky, mitoitusjännite, jäännösjännite, mitoituspurkausvirta ja suojaustaso. Suurin jatkuva käyttöjännite tarkoittaa suurinta vaihtojännitteen tehollisarvoa, joka saa vaikuttaa suojan yli jatkuvasti. Suojien valmistaja ilmoittaa Käyttötaajuuden ylijännitteen sietokyvyn käyrällä, jossa on esitetty käyttötaajuuden ylijännitteen suuruus sen rasisajajan funktiona. Mitoitusjännite on suurin venttiilisuojan yli oleva käyttötaajuinen jännite, jolla suoja toimii vielä oikein. Jäännösjännitteellä tarkoitetaan suurinta suojan yli vaikuttavaa jännitettä, kun suoja on johtavassa tilassa. Mitoituspurkausvirta on suurin salamasyöksyvirtapulssi, jolla suoja on suunniteltu toimivaksi. Tätä tarkoitusta varten standardoituja vaihtoehtoarvoja ovat 20, 10, 5, 2,5 ja 1,5 kA. Metallioksidisuojan suojaustasolla tarkoitetaan jännitettä, joka vaikuttaa suojan ja suojattavan kohteen yli, silloin kun suoja toimii. Venttiilisuojan, joka kytketään vaiheen ja maan väliin, suurin jatkuva käyttöjännite määräytyy laitteiden suurimman jatkuvan käyttöjännitteen mukaan. Tämän lisäksi siihen sovelletaan 5–10 prosentin varmuusmarginaalia. (Elovaara & Haarla 2011: 11–41.)

7.8 Relesuojaus

7.8.1 yleistä

Relesuojauksella tarkoitetaan suojalaitteista muodostuvaa kokonaisuutta, jolla pyritään suojaamaan sähköasemia ja kytkinlaitoksia sähköverkon vikatilanteissa. Relesuojauksen tärkeimpänä tehtävänä on vikojen havaitseminen ja vika-alueen rajaaminen mahdollisimman pieneksi. Relesuojaukselle asetetut vaatimukset edellyttävät, että (Mörsky 1992: 15–18)

- suojauksen on toimittava selektiivisesti, jotta vikatilanteessa mahdollisimman pieni osa verkosta kytketään irti.
- toiminnan on oltava riittävän nopeaa, että syntyvät häiriöt ja vauriot pysyvät kohtuullisina.
- verkon stabiilisuus ei saa häiriintyä missään tilanteessa.
- suojauksen pitää kattaa koko järjestelmä aukottomasti.
- suojauksen tulee olla erittäin käyttövarma ja rakenteeltaan mahdollisimman yksinkertainen.
- suojauksen on käytettävyydeltään oltava hyvä.
- suojaus pitää pystyä koestamaan paikanpäällä.
- hankintakustannuksien on pysyttävä kohtuullisina.

7.8.2 Suojauksen selektiivisyys

Suojareleet ja katkaisijat, joita releet ohjaavat muodostavat yhdessä suoja-alueita. Suojaus on aukoton, mihin luonnollisesti pyritään, jos vierekkäiset suoja-alueet sijoitetaan osittain toistensa päälle. Suoja-alueella voidaan tarkoittaa esimerkiksi johtoa, muuntajaa tai moottoria. Relesuojaus on absoluuttisesti selektiivinen, jos suojaus toimii vain sen omalla suoja-alueella tapahtuvissa vikatilanteissa. Selektiivisyys jaetaan kahteen osa-alueeseen sen mukaan, mihin sen toiminta perustuu. Nämä ovat aikaan perustuva aikaselektiivisyys ja virtaan perustuva virtaselektiivisyys. Selektiivisyys on suojareleen ominaisuus, jonka avulla se havaitsee vian suoja-alueella, mutta rele ei toimi, jos vikaa ei ole tai vika on releen suoja-alueen ulkopuolella. Tärkeissä kohteissa on myös suojauksen vikaantuminen otettava huomioon. Tällöin varsinaisen suojauksen lisäksi sen rinnalle rakennetaan varasuojauksia vikatilanteita varten. (Mörsky 1992: 15–18.)

7.8.3 Releet ja niiden tehtävät

Rele on laite, joka toimii virtapiirissä tapahtuneen muutoksen eli virikkeen vaikutuksesta. Kun releen tarkkailema suure ohittaa siihen määritellyn toiminta-arvon eli asettelun, rele havahtuu. Havahtumisen seurauksena rele toimii asettelussa määritellyn ajan kulluttua ja antaa lopuksi kytkentävirikkeen. Aikaa havahtumisesta kytkemiseen kutsutaan

releen toiminta-ajaksi. Kuvassa 17 näkyy pääkatkaisijan suojarahit. Releissä on usein myös osoitin, josta voi nähdä, onko relessä tapahtunut havahtuminen tai kytkeminen. Vikatilanteiden jälkiselvittelyissä tästä on usein suurta hyötyä. (Mörsky 1992: 19–82.)



Kuva 17. Kojeston pääkatkaisijan suojarahit

Päävirtapiireihin kytkettäviä suojarahitit sanotaan ensiö- eli primäärireleitä. Vastaavasti mittamuuntajien toisiopuolelle kytketyt suojarahitit ovat toisiö- eli sekundäärireleitä. Suojarahitien lisäksi tarvitaan kytkentäkäskeyjen välittämiseen monia erilaisia apureleitä sekä hälytyksiä ja muuta merkinantoa varten merkinantoreleitä. Apurele on rele, joka saa toimintavirikeensä varsinaisen releen toiminnasta. Tärkeimmät relesuojarahitissa käytettävät relelajit ovat (Mörsky 1992: 19–82):

- ylivirtareleitet, jotka toimivat, kun virta ylittää asettelun
- yli- ja alijännitereleitet
- taajuusreleitet
- tehoreleitet
- suuntareleitet

- epäsymmetriareleet
- vertoreleet, joiden toiminta perustuu erovirtojen mittaamiseen
- distanssireleet
- aikareleet
- hetkelliset releet, jotka toimivat nopeasti ilman viivettä.

Edellä mainittujen lisäksi suojauksessa käytetään myös kaasureleitä, joita käytetään muuntajien eristystilan vartioimiseen sekä sulakkeita oikosulku- ja ylivirtasuojaukseen. (Mörsky 1992: 19–82.)

7.8.4 Relesuojauksen rakenneosat

Releiden tehtävänä on tarkkailla sähköverkon tilaa ja siinä tapahtuvia muutoksia. Tilanteen niin vaatiessa, releiden pitää toimia automaattisesti, luotettavasti ja nopeasti. Releiden lisäksi toimivaan suojaukseen tarvitaan myös muita suojalaitteita. Tällaisia ovat esimerkiksi mittamuuntajat, katkaisijat, apuenergiälähteet, hälytyskeskukset sekä mittaus-, laukaisu- ja tiedonsiirtoyhteydet. (Mörsky 1992: 15–18.)

Mittamuuntajien tehtävänä on muuntaa sähköverkon primäärisuureet, virta ja jännite, sopivaan muotoon releitä varten. Releet ovat mittareihin rinnastettavia laitteita, jotka on varustettu kytkentäelimillä ja ne on standardoitu tietyille jännitteille ja virroille. Vaikka mitattavat sähköverkon primäärisuureet voivat olla hyvinkin suuria ja erilaisia, ovat käytettävät releet kohtalaisen pienikokoisia juuri mittamuuntajien ansiosta. Lisäksi tämä antaa mahdollisuuden sijoittaa releiden kauemmaksi itse suojattavasta kohteesta. (Mörsky 1992: 15–18.)

Katkaisija on osa sähköverkon primäärivirtapiiriä. Releet antavat katkaisijalle toimintavirikkeen sulkeutumis- tai avautumiskoskettimiensa välityksellä. Toimintakäskyn saatuaan, katkaisija suorittaa kaikki tarvittavat kytkentätoimenpiteet kyseisessä sähköverkon kohdassa. Apuenergiälähteestä saatava apujännite ohjataan releen toimesta katkaisijan auki- tai kiinnikytkentäkelalle oikea-aikaisesti. (Mörsky 1992: 15–18.)

Apuenergiälähde on akusto, jota yleensä syötetään tasasuuntaajalla. Apuenergiälähde on tärkeä apusähköjärjestelmän osa, joka turvaa sähkön tarpeen relesuojauksen muodostamalle kokonaisuudelle. Apuenergiälähteen tehtävänä on varmistaa jännitesyöttö tietyille laitteille myös sähköverkon vikatilanteiden aikana. Apuenergiaa tarvitaan muun muassa katkaisijan auki tai kiinni ohjaamiseen. Kuvassa 18 näkyy 1970-luvulta peräisin oleva vähäöljykatkaisija ja sen virtareleet. Nykyäänkin kyseisen aikakauden kojeistoja on vielä käytössä varsin yleisesti. (Mörsky 1992: 15–18.)

Hälytys- ja raportointikeskuksia käytetään releiden toimintatietojen keräämiseen keskitetysti. Tämä on usein tarpeellista, koska releitä voi olla suuriakin määriä sijoiteltuna eripuolille suojattavaa laitosta. Hälytyskeskuksen tehtävänä on kerätä tietoa releiden toiminnasta mahdollisimman nopeasti ja luotettavasti. Vikatilanteissa on tärkeää saada tapahtumien kulusta oikea kuva jatkotoimenpiteitä varten. Tapahtumien jälkianalyysin kannalta, selkeä ja oikea-aikainen raportointi on ensiarvoisen tärkeää. (Mörsky 1992: 15–18.)



Kuva 18. Vähäöljykatkaisija ja sen suojarleet

8 Muuntajat

8.1 Yleistä

Muuntaja on sähkölaite, jonka toiminta perustuu sähkömagneettiseen induktioon. Sillä voidaan vaihtosähköjärjestelmissä muuntaa tai säätää jännitteitä ja virtoja kahden tai useamman käämityksen välillä. Kolmivaihemuuntaja voi olla joko yksi kolmivaiheyksikkö tai se voidaan rakentaa kolmesta yksivaiheyksiköstä. Jännitteen vaihekulman muuttuminen on kolmivaihemuuntajan toiminnalle ominaista. Vaihekulma muuttuu aina saman vakiomäärän, joka riippuu muuntajan käämien kytkennästä. (Elovaara & Haarla 2011: 141–160.)

8.2 Muuntajien rakenne ja ominaisuudet

Vanhoissa, yhä käytössä olevissa muuntajissa käytetään edelleen eristämiseen paperia, prespaania ja muuntajaöljyä. Muuntajaöljy toimii niissä myös jäähdytysväliaineena siirtäen rautasydämessä syntyvän lämmön muuntaja-astian pinnalle. Hartsia eristeenä ja ilmaa jäähdytysväliaineena käyttäviä kuivamuuntajia käytetään pääasiassa jakelujännitteillä sisätiloissa. Kuvassa 19 on uusi kuivamuuntaja sijoitettu metallitelineeseen kaapelikanavan päälle. Kojeistolta tulevat suurjännitekaapelit tuodaan kaapelikanavaa pitkin muuntajalle. Lisäksi on olemassa kuivamuuntajia, joiden eristysaineena on käytetty SF_6 -kaasua sekä muuntajia, jotka on eristetty palamattomalla nesteellä. (Elovaara & Haarla 2011: 141–160.)



Kuva 19. Uusi muuntaja on kuljetettu paikoilleen asentamista varten

Muuntaja-astia on rakennettu lujasta ja sitkeästä teräslevystä. Muuntajan rautasydän valmistetaan 0,23–0,35 mm paksuista kidesuunnatuista sydänlevyistä. Näille kylmävalssatuille sydänlevyille voidaan tehdä laserkäsittely, minkä seurauksena saataisiin muuntajan häviöt pienemmiksi. Jakelumuuntajien osalta markkinoille ollaan tuomassa niin sanottu amorfinen sydänlevymateriaali. Tämän uuden sydänmateriaalin ansiosta häviöt ovat entistä pienemmät ja valmistusprosessin takia siitä puuttuu kiderakenne kokonaan. (Elovaara & Haarla 2011: 141–160.)

Kolmivaihemuuntajan käämit voidaan kytkeä tähteen tai kolmioon. Jakelujännitteillä käytetään myös niin sanottua hakatähtikytkentää. Yläjännitepuolen käämejä merkitään isoilla kirjainsymboleilla ja pienet kirjainsymbolit on varattu muille käämityksille. Yksivaihekytkentäisillä muuntajilla käytetään tunnuksia I ja i. Tunnukset A ja a on varattu säästökytkentäisille muuntajille ja mikäli tähtipiste on tuotu muuntajan kannelle, merkitään sitä symboleilla N ja n. Ensiö- ja toisiojännitteiden välinen vaihesiirto ilmaistaan tunnusluvulla. Se on muodostettu kellotaulun tuntinumeroista siten, että jokainen tunti vastaa 30°:n vaihe-eroa. Näin esitetty vaihe-ero kertoo, kuinka monta astetta alajännitepuolen tietyn vaiheen jännite on jäljessä yläjännitepuolen saman vaiheen jännitettä. Muuntajan kytkentä kokonaisuudessaan ilmoitetaan kirjain- ja numero-tunnusyhdistelmänä, jossa kerrotaan järjestyksessä seuraavat tiedot (Elovaara & Haarla 2011: 141–160):

- yläjännitekäämin kytkentä (Y)
- yläjännitekäämin tähtipisteen esilläolo (N)
- välijännitekäämin kytkentä (y)
- välijännitekäämin tähtipisteen esilläolo (n)
- ylä- ja alajännitekäämien välinen vaihe-ero (0)
- alajännitekäämin kytkentä (d)
- alajännitekäämin tähtipisteen esilläolo (-)
- ylä- ja alajännitekäämien välinen vaihe-ero (7)

Referenssinä käytetään aina yläjännitekäämiä. Muuntajan kytkentäryhmänä voi olla esimerkin vuoksi YNyn0d7. Esimerkiksi vaihe-eron tunnusluvulla 7 tarkoitetaan sitä, että alajännitepuolen jännite on jäljessä yläjännitepuolen saman vaiheen jännitettä $7 * 30^\circ = 210^\circ$. Kolmivaihemuuntajille on standardoitu taulukossa 13 esitetyt kytkennät. (Elovaara & Haarla 2011: 141–160.)

Taulukko 13. Kolmivaihemuuntajien standardoidut kytkentäryhmät

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

Muuntajat jaetaan sydänrakenteen perusteella sydänmuuntajiin ja vaippamuuntajiin. Nollavuoroisen magneettivuon kulkureitti on suurin ero näiden sydänrakenteiden välillä. Näin ollen rakenteella on myös vaikutusta muuntajan nollaimpedanssiin. Kolmi-pylväinen komivaihemuuntaja on esimerkki sydänmuuntajasta. Siinä vaihekäämien aikaan saama nollavuoroisella magneettivuolla ei ole paluureittia rautasydäntä pitkin. Tämän takia magneettivuo joutuu etsimään paluureittinsä käämien välisestä tilasta tai muuntaja-astian rungosta. Vaippamuuntajassa taas nollavuoroinen vuo pystyy aina sulkeutumaan muuntajan rautasydämen kautta. Viisipylväinen kolmivaihemuuntaja on näiden kahden rakenteen sekoitus. Sen ääripylväiden poikkipinnan ala on pienempi

kuin vaihepylvään vastaava ala. Tämän seurauksena muuntaja toimii vaippamuuntajan lailla, kun sen ääripylväät eivät ole kyllästyneitä. Kun ääripylväät kyllästyvät, alkaa muuntaja toimia kuten sydänmuuntaja. Yksivaiheiset muuntajat ovat aina vaippamuuntajia. (Elovaara & Haarla 2011: 141–160.)



Kuva 20. Muuntajan väliottokytkimet

Muuntajat voidaan varustaa jännitteensäätöä varten *käämikytkimellä*. Sen avulla voidaan muuttaa muuntajan muuntosuhdetta. Vaihto voidaan suorittaa myös muuntajan ollessa kuormitettuna. Säättäminen tehdään yleensä muuttamalla ensiöpuolen kierroslukua ja sen säätöalue on tavallisesti noin $\pm 15\%$. Yleisin jännitteensäätöväline pienemmillä muuntajilla on *väliottokytkin* (kuva 20). Sitä käytettäessä on laitteiston oltava ehdottomasti jännitteetön. (Elovaara & Haarla 2011: 141–160.)

8.3 Muuntajien rinnankäyttö

Kun muuntajat kytketään toimimaan rinnakkain, pitää varmistua siitä, ettei yksikään rinnankäyvistä muuntajista ylikuormitu. Muuntajien rinnankytkennälle on asetettu seuraavanlaisia vaatimuksia (Elovaara & Haarla 2011: 141–160):

- Muuntajilla on sama kytkentäryhmä eli kytkennöillä on samat tunnusluvut.
- Muuntajien muuntosuhteet on oltava samat.
- Suhteellisten oikosulkuiмпedanssien on oltava likipitään yhtä suuret.
- Muuntajien mitoitustehot eivät saa yleensä poiketa toisistaan enempää kuin suhteessa 1:3.

8.4 Muuntajien lämpeneminen ja sen jäähtytys

Muuntajan normaalikäytöllä tarkoitetaan tilannetta, jossa muuntajaa ajetaan mitoituskuormalla $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$:n ympäristö lämpötilassa. Tällöin eristeissä ei tapahdu ennenaikaista vanhenemista. Tämän takia on tärkeää tarkastaa, onko muuntajalle tehty vastaanottokokeisiin kuuluva lämpenemiskoe. Sen perusteella muuntajalle voidaan laatia ylikuormitettavuuskäyrästä. Muuntajat on perinteisesti varustettu käämin lämpötilan kuvaajilla ja lämpömittareilla, jotka mittaavat muuntajan öljyn lämpötilaa. (Elovaara & Haarla 2011: 141–160.)

Muuntajan jäähtytyselle on IEC:n toimesta määritelty jäähtytystapakoodaus. Koodiin on merkitty neljä kirjaintunnusta, joilla kertovat muuntajan jäähtytysten perusominaisuudet seuraavasti:

- Ensimmäinen merkki kertoo käämejä ympäröivän sisäisen jäähtytysaineen.
- Toinen merkki ilmoittaa sisäisen jäähtytysaineen kierrätystavan.
- Kolmas merkki kertoo ulkoisen jäähtytysaineen.
- Neljäs merkki ilmaisee ulkoisen jäähtytysaineen kierrätystavan.

Jäähtytysaineita on useita erilaisia ja niille on määritelty seuraavat koodit: A = ilma, O = mineraaliöljy, W = vesi, L = palamaton neste, G = kaasu, muu kuin ilma ja S =

kiinteä aine. Kierrätystavalle on määritelty kolme koodia. Ne ovat N = luonnollinen kierto, F = pumpuin tai tuulettimin tehostettu kierto ja D = pumppusyöttöinen ohjattu kierto käämityksessä. (Elovaara & Haarla 2011: 141–160.)

8.5 Muuntajan tyhjäkäyntivirran yliaallot

Tyhjäkäyntivirta I_0 jaetaan kahteen osaan, jotka ovat rautahäviöitä aiheuttava rautahäviövirta I_{Fe} ja magnetoitumisvirta I_m . Nämä osavirrat ovat 90° :n vaihesiirrossa toisiinsa nähden. Muuntajan tyhjäkäyntivirrat ovat varsin pieniä. Niiden suuruus on vain noin 2-3 promillea muuntajan mitoitusvirrasta, eikä niistä juurikaan aiheudu ongelmia. Ongelmia voi kuitenkin aiheutua tyhjäkäyntivirtaan sisältyvästä kolmannesta yliaallosta. (Elovaara & Haarla 2011: 141–160.)

Jos yliaaltovirta ei pääse kulkemaan muuntajan läpi, aiheuttaa se magneettivuohon ja sitä kautta myös jännitteeseen yliaaltokomponentin. On hyvä muistaa, että kolmella jaolliset yliaallot ovat aina nollavirran kaltaisia eli ne näkyvät samansuuruisina ja samanvaiheisina kaikissa vaiheissa. Kolmannen yliaallon aiheuttamat ongelmat näkyvät etenkin muuntajan maadoittamattomassa tähtipisteessä. (Elovaara & Haarla 2011: 141–160.)

8.6 Muuntajan tertiäärikäämitys

On varsin tavallista, että Yy-kytketyt täys- ja säästökytketyt muuntajat ovat varustettu kolmioon kytketyllä tasauskäämityksellä. Tasauskäämityksen tehtävänä on balansoida pääjännitteitä, kun kuorma on epäsymmetrinen. Muuntajan toisiopuolella on tällöin vaiheen ja tähtipisteen väliin kytketty kuorma, joka aikaansaa ensiöön epäsymmetrisen virtajakauhan. Virrat magnetoivat muuntajan sydäntä, joka voi mennä kyllästystilaan nollavuoroisen hajavuon takia. Se aiheuttaa jännitteiden vääristymiä, jänniterasituksia tähtipisteessä ja itse muuntaja-astian lämpenemistä. (Elovaara & Haarla 2011: 141–160.)

Kun muuntajaan lisätään tertiäärikäämi, siihen indusoituu virtoja, jotka pienentävät merkittävästi ensiön epäsymmetrisiä virtoja ja niiden haittavaikutuksia. Tertiäärikäämin teho on suuruudeltaan kolmasosa muuntajan mitoitustehosta. Tertiäärikäämityksellä on seuraavia hyötyvaikutuksia (Elovaara & Haarla 2011: 141–160):

- Se vaimentaa tähtipisteen maadoitusjohtimessa kulkevan tyhjäkäyntivirran kolmannen yliaallon suuruutta.
- Se pienentää muuntajan nollareaktanssia siten, että lähestytään muuntajan oikosulkuimpedanssin suuruutta.
- Balansoiva käämitys voidaan käyttää loistehon kompensointiin tarvittavan tehon tuottamiseen.
- Sitä voidaan käyttää muuntoaseman apusähkön lähteenä

8.7 Sarjasäätömuuntajat

Sarjasäätömuuntajalla tarkoitetaan yhdistelmää, joka koostuu kahdesta erillisestä muuntajasta. Nämä ovat magnetoimismuuntaja ja päävirtapiirin sarjamuuntaja. Magnetoimismuuntajan toisiokääminä on pelkkä säätökäämi. Säättöpiiriin indusoitunut jännite säädetään sopivaksi ja tuodaan takaisin päävirtapiiriin sarjamuuntajan välityksellä. (Elovaara & Haarla 2011: 141–160.)

Sarjasäätömuuntajaa voidaan käyttää rinnakkaisten tehonsiirtoreittien impedanssien sovittamiseen toisiinsa. Näin saadaan tehonsiirto tasaisemmaksi rinnakkaisien reittien välillä. Tällöin sarjasäätömuuntaja on kytketty sarjaan toisen johdon kanssa, ja se saa aikaan johdolle vakiojännitteen tai jännitteen, jonka amplitudi ja vaihesiirtokulma ovat säädettävissä. Vaihekulmaa muuttamalla voidaan säätää johdossa kulkevan pätötehon suuruutta ja jännitteen amplitudin säädöllä siirtyvän loistehon suuruutta. (Elovaara & Haarla 2011: 141–160.)

8.8 Muuntajan hankinnassa huomioitavia seikkoja

Muuntajaa hankittaessa pitää olla tiedossa, minkälaisia vaatimuksia uuden muuntajan halutaan täyttävän. Tilaajan on määriteltävä tarjouspyyntövaiheessa ainakin seuraavat muuntajia koskevat ominaisuudet ja vaatimukset (Elovaara & Haarla 2011: 141–160):

- noudatettavat standardit
- asennusolosuhteet
- ympäristön tai jäähdytysväliaineen lämpötila
- muuntajatyypin
- vaiheiden lukumäärä
- nimellistaajuus
- mitoitusjännitteet
- kunkin käämityksen teho eri jäähdytystavoilla
- kytkentäryhmä
- kuormitusjakson kuvaus
- jännitteensäädön toteutus
- käämikytkimen/väliottokytkimen säätöalue
- muuntajan sallitus sisäiset lämpötilan nousut
- ylikuormitettavuusvaatimukset
- tyhjäkäyntivirrälle sallittu enimmäisarvo
- lämmönsiirtoväliaineen tyyppi
- jäähdytystapa
- oikosulkuimpedanssit ja nollavuoroiset impedanssit
- öljyn paisuntasäiliölle asetetut vaatimukset
- verkon suurin käyttöjännite
- vaadittava oikosulkulujuus
- äänitasot.

9 Maadoitukset

9.1 Yleistä

Suurjännitelaitteistojen maadoitukset on esitetty standardissa SFS 6001 Suurjännite-sähköasennukset. Tässä luvussa keskitytään jakelumuuntamoihin ja niiden keskijännitelaitteistoiden maadoituksiin. SFS 6001 standardin mukaan, suurjännitelaitteiston maadoitusjärjestelmän rakenteelle on asetettu seuraavat neljä vaatimusta, jotka sen tulee täyttää:

- riittävä mekaaninen lujuus ja korroosiokestävyys.
- suurimman vikavirran kestävyys termisesti.
- omaisuuden ja laitteiden vaurioitumisen estäminen.
- henkilöiden turvallisuuden varmistaminen suurimman maasulkuvirran aikana.

Yleissääntönä on pidetty sitä, että keskijännitekaapelit maadoitetaan vaipan molemmista päistä. Jos asennuksessa on eri jännitetasoja, on jokaisen suurjännitejärjestelmän täytettävä edellä esitetyt vaatimukset samanaikaisesti. (Annanpalo ym. 2007: 73–98.)

9.2 Muuntamon maadoitukset

Jakelumuuntamoihin rakennetaan yhteinen maadoitusjärjestelmä suurjännitteelle ja pienjännitteelle aina, jos se vain on mahdollista. Keskijännitekojeiston ja muuntajan muodostaman muuntopiirin maadoitusjärjestelmässä muuntamolle rakennetaan aina maadoituselektrodi. Muuntamon maadoituselektrodin muotoon vaikuttavia tekijöitä ovat esimerkiksi muuntamon rakenteet sekä maaperä, ja siinä on huomioitava myös ylijännitesuojaus. (Annanpalo ym. 2007: 73–98.)

9.3 Suur- ja pienjännitejärjestelmien yhteinen maadoitus

Ehdot suur- ja pienjännitejärjestelmien yhteiselle maadoitukselle on esitetty standardin SFS 6001 kohdassa 9.4.1. Pienjännitejärjestelmän tähtipiste tai PEN-johdin voidaan yhdistää suurjänniteverkon maadoitukseen, kun seuraavat vaatimukset toteutuvat suurjänniteasennuksessa tapahtuvan maasulun aikana:

- Pienjänniteverkossa tai siihen liitetyissä sähkökäyttäjän laitteistoissa ei esiinny vaarallisia kosketusjännitteitä.
- Sähkökäyttäjän pienjännitteisessä laitteistoissa esiintyvä pienjännitejärjestelmän tähtipisteen potentiaalın noususta johtuva käyttötaajuisen rasisusjännitteen suuruus ei ylitä sallittua rajaa.

Käyttötaajuinen rasisusjännite on määritelty standardin SFS 6000 kohdassa 4-44. Tavallisilla jakeluverkon ja maadoituskiskojen rakenteilla ei käyttötaajuisilla rasisusjännitteillä kuitenkaan ole suurta vaikutusta. (Annanpalo ym. 2007: 73–98.)

9.4 Kaapeliverkkoon liitetty sähkökäyttäjän muuntamo

Muuntamoissa maadoitukseen ja suojamaadoitukseen käytettävät kaikki johtimet ovat mitoitukseltaan $Cu 50mm^2$. Muuntamon maadoituskiskosta asennetaan suojamaadoitusjohdin liityntäkaapeleiden keskusköysiin. Liityntäkennojen suojamaadoitus toteutuu keskus-köysien kautta. Kytkenällä varmistetaan se, ettei kojeistossa tehtävien muutostöiden aikanakaan mahdollinen kaksoismaasulku aiheuta vaaraa, koska keskusköydet ovat kytkettyinä toisiinsa. Keskijännitekojeiston kaikkien kennojen suojamaadoitus on kytketty samaan suojamaadoitusjohtimeen. Tämän tarkoituksena on varmistaa se, että vikatilanteista syntyneet suuret vikavirrat kulkevat suojajohtimen kautta. Tähän on päädytty, koska kojeiston maadoituskiskon mitoitus ei aina ole riittävä eivätkä kennojen väliset liitokset ole aina luotettavia. Kaapelin keskusköysi pitää kytkeä aina saman kennon maadoituskohtioon kuin mihin kaapelikin on kytketty. Kaapelin ja sen keskusköyden saa erottaa toisistaan vasta kennon kytkentäalueella. (Annanpalo ym. 2007: 73–98.)

Keskijännitekojeistossa tulee olla vähintään kaksoismaasulun kestävä maadoituskisko, johon sen suojamaadoitusjohdin yhdistetään. Kojeiston valmistajan tehtäviin kuuluu kojeiston vaipan ja maadoituskiskon yhdistäminen. Tämä on kuitenkin vielä tarkastettava kojeistoa asennettaessa urakoitsijan toimesta. (Annanpalo ym. 2007: 73–98.)

Muuntajan suurjännitekaapelin suojajohtimen kumpikin pää tulee kytkeä molemmista päistään suojamaadoitukseen. Tämä on välttämätöntä, varsinkin silloin, kun käytetään johtavalla vaipalla varustettuja kosketussuojattuja kaapelipäätteitä, sillä muuten päätteet voivat vaurioitua tai jopa tuhoutua. Päänteen potentiaalintausjohtimet eivät kestä vikavirtoja ja vain vaivoin muuntajan kytkentävirtasysäystä. Etenkin pitkillä kaapeleilla, oikosulkutilanteessa vaipan vapaan pään jännite nousee vaarallisen korkeaksi. Molempien päiden maadoittaminen muodostaa virtapiirin ja vaippaan indusoitunut jännite synnyttää vaippavirran. Tämän vähentää arviolta kaapelin kuormitettavuutta noin 10%. (Annanpalo ym. 2007: 73–98.)

Muuntajan iästä riippuen, siinä voi olla yksi tai kaksi maadoituskohtiota. Vanhoissa muuntajissa on yksi kohtio muuntajakannella. Uudemmissa muuntajissa voi olla kohtiot sekä kannella että muuntajan alaosassa. Tässä tapauksessa suojamaadoitusjohdin kytketään kumpaankin kohtioon. Jos muuntajan valmistajan ohjeet poikkeavat näistä yleisistä ohjeista, noudatetaan valmistajan antamia ohjeita. (Annanpalo ym. 2007: 73–98.)

Muuntamon suur- ja pienjännitejärjestelmien yhteinen maadoitus on esitetty liitteessä 1. Kaaviosta nähdään, että muuntamolla ja rakennuksella on kummallakin oma maadoitusjärjestelmänsä. Järjestelmät on yhdistetty rakennuksen päämaadoituskiskon ja muuntamon maadoituskiskon välisellä potentiaalintausjohtimella. PEN-johtimen jakaminen PE- ja N-johtimeksi tapahtuu pienjännitepääkeskuksessa. Jos muuntajan vaippa ja n-napa on yhdistetty, on myös PEN-johtimen jakaminen PE- ja N-johtimeksi tehtävä jo muuntajan n-navassa. Kun yhdistäminen on tehty vain yhdessä pisteessä, ei harhanollavirtoja pääse syntymään. (Annanpalo ym. 2007: 73–98.)

Kun muuntamo on sijoitettu rakennukseen, jossa on sähkön käyttäjiä, on huolehdittava siitä, että hajamagneettikenttiä ei pääse syntymään. Tämä onnistuu vain silloin, kun nollavirta pääsee kulkemaan ainoastaan liittymisjohdon PEN-johtimen kautta. Raken-

teissa tai muissa erillisjohtimissa kulkeva pienikin harhanollavirta voi saada aikaan suuria häiriöitä. Harhavirtoja voidaan torjua tehokkaasti huolehtimalla seuraavista asioista (Annanpalo ym. 2007: 73–98):

- kaikki rakennuksen maadoitettavat osat, kuten putkistot ja telejärjestelmät, yhdistetään rakennuksen päämaadoituskiskoon eli suoritetaan potentiaalinen taseus.
- näitä ei saa yhdistää muuntamon maadoituskiskoon, koska silloin syntyisi nollavirralla rinnakkainen reitti.
- varmistetaan, ettei kojeisto tai muuntaja ole yhteydessä rakennuksen maadoitettaviin osiin.
- muuntamoon rakennetaan oma erillinen ilmanvaihto, jota syötetään muuntamon pienjännitekeskuksesta.
- muuntamossa maadoitetaan vain jännitteelle alttiit osat.

Kaikkien mittamuuntajien toisiopiirit pitää maadoittaa. Maadoittaminen tulee tehdä mahdollisimman lähellä mittamuuntajien toisioliittimiä. Kun maadoitusjohdin on mekaanisesti suojattu, on sen poikkipinnan oltava vähintään $2,5 \text{ mm}^2$:n kuparia. Jos mekaanista suojausta ei ole, on maadoitusjohtimen oltava vähintään 4 mm^2 :n kuparia. Jos toisiopiirin maadoittaminen on pakko tehdä jostain muualta kuin toisioliittimien välittömästä läheisyydestä, on maadoitus toteutettava siten, ettei sitä voi tahattomasti irrottaa. (Annanpalo ym. 2007: 73–98.)

Ylijännitesuojien maadoituksessa tulee noudattaa seuraavia periaatteita:

- Ylijännitesuojat on aina kytkettävä suoraan suojattavat kohteen rinnalle.
- Suojissa on käytettävä niin lyhyitä johtimia kuin on mahdollista.
- Maadoitusjohdin on aina vietävä mahdollisimman suoraan maahan.
- Maadoituselektrodin pitää olla useahaarainen, jolloin aaltovastus pienenee.
- Maadoituselektrodin maadoitusresistanssiin ei tarvitse kiinnittää huomiota.

9.5 Maadoituksen mitoitus

9.5.1 Elektroodin mitoitus

Standardissa SFS 6001 on määritelty maadoituselektroodin mitoitus korroosion kestävyden ja mekaanisen lujuuden perusteella seuraavasti. Jos maadoituselektrodi on maan kanssa suoraan kosketuksissa, tulee se valmistaa materiaaleista, jotka kestävät korroosiota. Maadoituselektroodin pitää kestää mekaanisia rasituksia niin asennuksen kuin normaalin käytönkin aikana. Maadoitusjärjestelmän osana voidaan käyttää betoni-perustuksiin upotettua terästä, teräspaaluja tai jotain muuta luonnollista maadoituselektrodia. Maadoituselektrodiin vähimmäismitat mekaanisen lujuuden ja korroosion kestävyden perusteella on esitetty taulukossa 14 (SFS 6001, 2009: 70–81).

Taulukko 14. Maadoituselektrodiin materiaalit ja vähimmäismitat

Materiaali		Elektroodin tyyppi	Vähimmäiskoko				
			Ydinosa			Päälyste/vaippa	
			Halkaisija (mm)	Poikkipinta (mm ²)	Paksuus (mm)	Yksittäiset arvot (µm)	Keskimääräiset arvot (µm)
Teräs	kuumasinkitty	Nauha ²⁾		90	3	63	70
		Profiili (ml. levyt)		90	3	63	70
		Putki	25		2	47	55
		Sauvaelektroodin pyörötanko	16			63	70
		Vaakasuoran maadoituselektroodin pyöreä johdin	10				50
	lyjyvaipalla ¹⁾	Vaakasuoran maadoituselektroodin pyöreä johdin	8			1000	
	päälystetyllä kuparivaipalla	Sauvaelektroodin pyörötanko	15			2000	
	elektrolyytti-kuparivaipalla	Sauvaelektroodin pyörötanko	14,2			90	100
Kupari	paljas	Nauha		50	2		
		Vaakasuoran maadoituselektroodin pyöreä johdin		25 ³⁾			
		Köysi	1,8*	25 ³⁾			
		Putki	20		2		
	tinattu	Köysi	1,8*	25		1	5
	sinkitty	Nauha		50	2	20	40
	lyjyvaipalla ¹⁾	Köysi	1,8*	25		1000	
	Pyöreä johdin		25		1000		

* köyden yksittäisen johtimen halkaisija

¹⁾ ei soveltu upotettavaksi suoraan betoniin

²⁾ nauha, valssattu tai leikattu pyörästetyillä reunoilla

³⁾ Olosuhteissa, joissa kokemuksen mukaan korroosioriski ja mekaanisen vaurion riski on alhainen, voidaan käyttää poikkipintaa 16 mm².

9.5.2 Elektroodin rakenne

Maadoituselektrodit jaetaan asennustavan mukaan vaakaelektrodeihin ja pystyelektrodeihin. Vaakaelektrodit asennetaan vaakatasoon joko kaapeliojan pohjalle tai maahan auraamalla. Elektrodi on tällöin alle metrin syvyydessä maan pinnasta, eli toisin sanoen talviaikaan se on routivassa maassa. Maadoitusresistanssi on suurempi talvella. Lisäksi lumi ja routa heikentävät maan pinnan johtavuutta, mikä aiheuttaa maadoitukseen vielä lisäresistanssia. (Annanpalo ym. 2007: 73–98.)

Pystyelektrodilla on pienempi ja vakaampi maadoitusresistanssi kuin vaaka elektrodilla, koska se on asennettu routarajan alapuolelle. Pystyelektrodia voidaan käyttää paikoissa, joissa maan resistiivisyyden tiedetään olevan syvemmillä pienempi tai esimerkiksi kaivutöiden takia on olemassa vaara, että elektrodi vioittuu. Viime aikoina pystyelektrodien käyttö on ollut kasvusuuntaista. Pystyelektrodina käytetään yleisesti kupari-päälysteistä terästankoa, jolle on vähimmäisvaatimuksena asetettu 15 mm:n halkaisija. Kuumasinkittyjä terästankoja ei ole suositeltavaa käyttää syvämaadoitukseen. (Annanpalo ym. 2007: 73–98.)

9.5.3 Maadoitusjohtimen mitoitus

Maadoitusjohtimille on määritelty mekaanisen lujuuden ja korroosiokestävyyden takia minimi poikkipinnat Standardissa SFS 6001. Ne määräytyvät johdinmateriaalin mukaan seuraavasti:

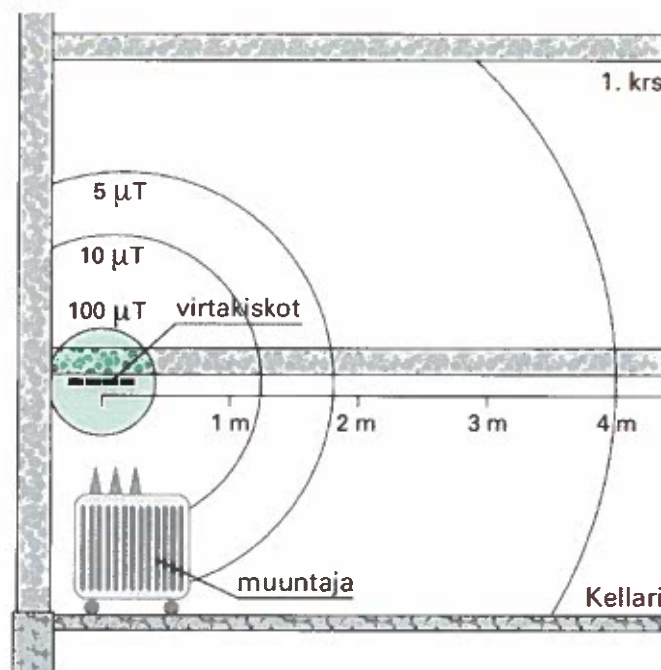
- kupari 16 mm^2 (ei koske mittamuuntajien toisiopiirin maadoitusta)
- alumiini 35 mm^2
- teräs 50 mm^2

Teräksestä valmistetut maadoitusjohtimet tulee aina suojata korroosiota vastaan. Potentialintasausjohtimen mitoitus suositellaan tehtäväksi maadoitusjohtimien mitoitusääntöjen mukaan. (SFS 6001, 2009: 70–81.)

10 Muuntamon sähkömagneettiset häiriöt

10.1 Yleistä

Sähköenergian siirto jakeluverkosta kuluttajille pienjänniteverkkoon tapahtuu jakelu-
muuntamoiden välityksellä. Kiinteistömuuntamossa jakeluverkon 20 kV:n tai 10 kV:n
siirtojännite muunnetaan sähkön loppukäyttäjää varten 0,4 kV:n pienjännitteeksi.
Asuntokohteissa ja vastaavissa rakennuksissa esiintyvät pienitaajuiset 50 Hz:n
magneettikentät syntyvät yleensä rakennuksen omien sähkökaapelien, kerrosten
välisien nousujohtojen ja sähkökeskusten vaikutuksesta. Verkkoon kytketyt sähkö-
laitteet aiheuttavat myös vastaavia magneettikenttiä. (Björkman ym. 2008: 67–71.)



Kuva 21. Periaatekuva muuntamon aiheuttamista magneettikentistä

Sähkömagneettiset häiriöt, joita muuntamot synnyttävät, ovat yleensä poikkeuksetta
magneettikentän aikaansaamia. Suurimmat magneettikentät onkin mitattu juuri jakelu-
muuntamoiden välittömässä läheisyydessä olevista tiloista. Tällaisia tiloja voivat olla
esimerkiksi asunnot kerrostalossa, minkä kellariin on sijoitettu kiinteistömuuntamo.
Vastaavanlaisia kiinteistömuuntamoita on Suomessa noin 9000 kappaletta. (Björkman
ym. 2008: 67–71.)

10.2 Magneettikentän arviointi ja mittaaminen

Magneettikentät eivät ole tasaisia ja vakaita, vaan niiden voimakkuuksissa voi olla huomattaviakin vaihteluita. Kentänvoimakkuuksien vaihtelut johtuvat pääasiassa sähkönkäytön vaihteluista eri vuorokaudenaikoina. Häiriölähteitä kartoitettaessa, on lisäksi huomioitava myös yliaallot, koska niiden esiintyminen pienjännitteisissä magneettikentissä on erittäin yleistä. Useimmiten on mahdollista, että rakennusta ja sen muuntamoita koskevien asiakirjojen perusteella voidaan määrittää suuruusluokka magneettikentän voimakkuuksille. Yleensä tämä onnistuu parhaiten verkkoyhtiöiden ja muiden muuntamoiden haltijoiden kartuttamien tietojen ja kokemusten avulla. Merkittävin yksittäinen magneettikentän aiheuttaja muuntamossa on muuntajaa ja pienjännitepääkeskusta yhdistävä kiskosilta tai kaapelipakka. Tärkeimpiä huomioitavia asioita magneettikenttien kannalta ovat. (Björkman ym. 2008: 67–71):

- virtakiskon tai kaapelipakan kulkureitti (etäisyys katosta tai seinästä)
- virtakiskon tai kaapelipakan suojaus
- kuormituksesta riippuva maksimivirta

Tavanomaista voimakkaammat magneettikentät saattavat aiheuttaa häiriöitä sähkölaitteisiin. Useimmiten ne ilmenevät ensimmäisenä tietokoneen näytöllä kuvan vääristymisenä. Magneettikenttien mittauksilla pyritään selvittämään, että magneettikenttien voimakkuudet olisivat sellaisella tasolla, ettei niistä aiheudu laitehäiriöitä, eivätkä ne ole terveydelle haitallisia. Sosiaali- ja terveysministeriön asetuksessa (294/2002) on määriteltä magneettikentän voimakkuudelle suositusarvoja, asuinhuoneistoissa tai niihin verrattavissa tiloissa, joita ei saa ylittää. (Björkman ym. 2008: 67–71.)

Magneettikentän voimakkuuden suuruudesta tehdyn arvion perusteella päätetään mahdollisista jatkotoimenpiteistä. Jos magneettivuon tiheys on arvion mukaan lähellä sallittuja raja-arvoja, on syytä tutkia asiaa tarkemmin. Aluksi tehdään kartoitusmittaus, mikä tarkoittaa käytännössä muutamaa magneettikentän voimakkuuden mittausta paikoissa, missä niitä todennäköisimmin esiintyy. Jos kartoitus osoittaa, että kyseisessä asuutilassa tai vastaavassa, on mahdollista ylittää magneettikentän voimakkuudelle sallitut suositusarvot, on vielä lisäksi suoritettava tarkempia varmistusmittauksia. Tyypiesimerkki tilanteesta, jolloin voidaan tarvita edellä mainittuja toimenpiteitä, on

asuinkerrostalo, missä kiinteistömuuntamo on sijoitettu asunnon alapuolelle tai se on vieressä seinän takana. (Björkman ym. 2008: 67–71.)

Jos mittauksissa havaitaan muuntamon läheisyydessä radiotaajuisia häiriöitä, voi kyseessä olla muuntajan tai keskijännitekojeiston eristeiden likaantuminen tai vaurioituminen. Tällöin syytä on myös tarkastaa mahdolliset löysät liitokset, muuntajasta öljynpinnan korkeus sekä kaasueristeisen kojeiston painetaso. Hyvällä suunnittelulla, oikeilla laitevalinnoilla sekä hyvin toteutetulla suojauksella on mahdollista rajoittaa magneettikenttiä niin, ettei ole tarvetta rajoittaa muuntamosta syötettävän sähkön määrää. Muuntamotilojen suunnittelussa on otettava huomioon seuraavanlaisia asioita, joilla voidaan vähentää muuntamon aiheuttamia sähkömagneettisia häiriöitä (Björkman ym. 2008: 67–71):

- pidempi etäisyys häiriölähteeseen
- pienempien vaihevälien käyttäminen
- pienempi etäisyys muuntajan ja pienjännitekojeiston välillä
- vaihesymmetroidut virtatiet
- muuntajan ja pienjännitekojeiston välisen kaapelipakan tai kiskoston kuljettaminen lattian kautta katon sijaan.
- pienjännitevirtatien suojus
- koko muuntamon suojus
- kolmannen yliaallon suodatus
- tehdasvalmisteisten matalakenttäisten muuntamoratkaisuiden käyttäminen.

11 Muuntamon käyttöönotto

11.1 Tarkastukset

Urakoitsija suorittaa rakentamalleen sähkölaitteistolle käyttöönottotarkastuksen. Urakoitsija luovuttaa tarkastus pöytäkirjat tilaajalle ennen vastaanottotarkastusta.

Muuntamolle, joka on luokan 2 tai 3 sähkölaitteisto, pitää tehdä myös varmennustarkastus. Varmennustarkastuksen saa tehdä joko tarkastuslaitos tai valtuutettu tarkastaja. Varmennustarkastuksesta aiheutuvat kustannukset sisältyvät yleensä urakkaan, mutta asia on kuitenkin hyvä vielä erikseen tarkastaa.

Käytössä oleville muuntamoille pitää tehdä myös määräaikaistarkastuksia. Määräaikaistarkastukset ja huollot pitää toteuttaa kiinteistön huolto- ja kunnossapito-ohjelman mukaisesti. Laitteistojen huolto-, korjaus- ja puhdistustyöt tulee suorittaa standardin SFS 6002 mukaisesti. Edellä mainitut huoltotyöt tehdään käytönjohtajan tai riittävän pätevän sähköurakoitsijan toimesta. Jos työ kohdistuu pääkatkaisijakennoon tai liittymäkennoihin, on työstä sovittava verkonhaltijan kanssa hyvissä ajoin, etukäteen. Tällöin jakeluverkonhaltijan asentajat kytkvät laitteiston jännitteettömäksi ja tekevät työmaadoituksen liittymäkennoihin.

11.2 Mittaukset

Käyttöönottotarkastuksiin kuuluu mittauksia, jotka pitää tehdä ennen jännitteen kytkemistä ja mittauksia, jotka tehdään vasta jännitteen kytkemisen jälkeen. Seuraavat mittaukset suoritetaan jännitteettömänä:

- suojajohtimien, PEN-johtimien ja potentiaalintasausjohtimien jatkuvuuden mittaaminen
- eristysresistanssimittaukset
- SELV- ja PELV- piirien tai suojaerotettujen piirien erotuksen varmistaminen.

Sähkölaitteistoon voidaan kytkeä jännitteet päälle vasta, kun edellä esitetyt vaatimukset on mittaamalla todettu kunnossa oleviksi. Kun jännite on kytketty, voidaan suorittaa seuraavat jännitteisinä tehtävät mittaukset ja koestukset:

- syötön automaattisen poiskytkennän toiminta
- Napaisuuksien tarkastaminen
- kytkin-, käyttö-, ohjaus- ja lukituslaitteiden toiminnan testaus
- ohjauspiirien toiminnan tarkastaminen
- valvonta- ja hälytyslaitteiden testaus
- vaihejärjestyksen mittaaminen
- jännitelujuus, jos laitteisto on tyyppitestaamaton tai se on rakennettu vasta käyttökohteessa.

Urakoitsija laatii tekemistään mittauksista ja tarkastuksista pöytäkirjat, jotka se toimittaa tilaajalle ennen vastaanotto tarkastusta.

11.3 Ilmoitus rekisteriin

Kauppa- ja teollisuusministeriön päätöksen N:o 516 mukaan, on sähkölaitteistonhaltijan tehtävä nimeämästään käytönjohtajasta ilmoitus sähköturvallisuusviranomaiselle kolmen kuukauden kuluessa sähkölaitteiston käyttöönotosta. Ilmoituksesta on käytävä ilmi laitteistoa ja käytönjohtajaa koskevat tiedot. Käytönjohtajan suostumus on myös liitettävä ilmoitukseen.

11.4 Käytönjohtajan nimeäminen

Sähkölaitteiston haltijan on nimettävä laitteistonsa käyttötöitä varten käytönjohtaja kun sähkölaitteistossa on yli 1000 V nimellisjännitteisiä osia tai sähkölaitteiston liittymisteho on yli 1600 kVA. Käyttötöitä varten nimettävän käytönjohtajan tulee olla Kauppa- ja teollisuusministeriön päätöksen N:o 516 mukaan tehtävään riittävän pätevyyden omaava henkilö.

12 Työt toiminnassa olevassa muuntamossa

12.1 Käyttötoimenpiteet

Käyttötoimenpiteellä tarkoitetaan sellaista toimintaa, jolla muutetaan sähkölaitteiston sähköistä tilaa. Käyttötoimenpiteitä voidaan suorittaa joko paikallisesti tai kauko-ohjauksella. Käyttötoimenpiteet on jaettu kahteen eri ryhmään niiden käyttö-tarkoituksen perusteella (SFS 6002, 2007: 5.2 Käyttötoimenpiteet):

- Toimenpiteet, joiden tarkoituksena on muuttaa laitteiston sähköistä tilaa, käyttää laitetta, kytkeä, erottaa, käynnistää tai pysäyttää laite.
- Toimenpide, jolla laitteisto kytketään tai erotetaan työskentelyä varten.

Edellä määritellyissä toimenpiteissä tulee aina käyttää sopivia työkaluja ja varusteita, joilla estetään henkilöihin kohdistuva sähköinen vaara. Muuntamoihin kohdistuvista toimenpiteistä on sovittava aina erikseen kyseisen sähkölaitteiston käytöstä vastaavan henkilön kanssa. Kun laitteistoon kohdistuva toimenpide tai toiminnan tarkastus on suoritettu, tulee asiasta tiedottaa laitteiston käytöstä vastaavalle henkilölle viipymättä. (SFS 6002, 2007: 5.2 Käyttötoimenpiteet)

12.2 kohteen jännitteettömäksi tekeminen

Lähtökohtaisesti sähkölaitteistoissa työskenteleminen tehdään aina jännitteettömänä kun se vain on mahdollista. Kun työkohde on määritelty, se on tehtävä luotettavasti jännitteettömäksi, ennen kuin työt laitteistossa voidaan aloittaa. Kohteen jännitteettömäksi tekeminen tapahtuu suorittamalla seuraavat viisi tärkeää toimenpidettä esitetyssä järjestyksessä. Niillä varmistetaan, että työkohde on ja pysyy jännitteettömänä työn aikana. (SFS 6002, 2007: 6.2 Työskentely jännitteettömänä)

- täydellinen erottaminen
- jännitteen kytkemisen estäminen
- laitteiston jännitteettömyyden toteaminen

- työmaadoittaminen
- suojaus lähellä olevilta jännitteisiltä osilta

Sähkölaitteisto, jossa työ suoritetaan, on erotettava kaikista siihen tulevista syötöistä. Laitteisto on erotettava käyttäjännitteestä erottimella, erotuskytkimellä, sulakkeiden poistamisella tai jollain muulla luotettavalla tavalla. Erotuslaitteessa pitää olla näkyvä avausväli, luotettava mekaaninen asennonosoitus tai sen toimiminen on luotettavasti jotenkin muuten todettava. Jos on mahdollista, että jännite voidaan kytkeä laitteistoon useasta eri suunnasta, on työkohteen jännitteettömäksi tekemisessä noudatettava erityistä huolellisuutta erehdyksien välttämiseksi. Lisäksi on huolehdittava siitä, ettei laitteistoon pääse vaarallisia jännitteitä pienjännitepuolelta eikä mittaus-, ohjaus- tai jonkun muun apuvirtapiirin välityksellä. (SFS 6002, 2007: 6.2 Työskentely jännitteettömänä.)

Jännitteen takaisin kytkeminen työn aikana estetään lukitsemalla erotuslaite tai tila, jossa erotuslaite on. Erotuskohta tai sen ohjauselin on varustettava kieltokilvellä, jossa kielletään jännitteen kytkeminen työskentelyn aikana. Kilpi on kiinnitettävä niin, että se pysyy paikallaan koko työskentelyn ajan. Kilpeen on merkittävä, kuka kilven on asettanut ja milloin se on asetettu. (SFS 6002, 2007: 6.2 Työskentely jännitteettömänä.)

Työalueella jännitteettömyys on todettava sähkölaitteiston kaikista navoista. Jännitteettömyys on todettava luotettavasti paikallisissa ohjeissa määriteltyjen käytäntöjen mukaisesti, esimerkiksi erillisen jännitteenkoettimen avulla. Jännitteettömyys on todettava aina ennen työn aloittamista. Jos työkohteesta joudutaan välillä poistumaan, on jännitteettömyys todettava uudelleen, ennen kuin työt voidaan taas aloittaa. (SFS 6002, 2007: 6.2 Työskentely jännitteettömänä.)

Suurjännitelaitteistoissa ja myös eräissä pienjännitelaitteistoissa, laitteiston kaikki osat, joissa työskennellään, on työmaadoitettava. Työmaadoituslaitteet kytketään ensin maadoituspisteeseen ja vasta sen jälkeen maadoitettaviin osiin. Kaikissa tapauksissa pitää varmistua siitä, että työmaadoituslaitteet ja -välineet ovat tarkoituksenmukaisia ja soveltuvat käyttökohteen vika-arvoihin. Maadoitusvälineiden kiinnipysyminen työn aikana pitää varmistaa luotettavalla tavalla. (SFS 6002, 2007: 6.2 Työskentely jännitteettömänä.)

Jos työalueen välittömässä läheisyydessä on sähkölaitteiston osia, joita ei voida tehdä jännitteettömäksi, on ne suojattava vaaran välttämiseksi. Suojalaitteet on valittava ja asennettava siten, että ne kestävät odotettavissa olevat sähköiset ja mekaaniset rasitukset. Suojavälineitä pitää säilyttää siten, että ne pysyvät hyväkuntoisina. Kun suojalaitteita käytetään, on ne kiinnitettävä luotettavasti työn ajaksi. (SFS 6002, 2007: 6.2 Työskentely jännitteettömänä.)

13 Muuntamoiden kunnonvalvonta

13.1 Yleistä

Tehokas vikojen ennaltaehkäisy on tärkeä osa muuntamoiden kunnonvalvontaa. Hyvällä suunnittelulla ja toteutuksella sekä sähköturvallisuusmääräyksien täyttämällä saavutetaan vakaa pohja muuntamon toiminnalle. Tämän lisäksi on tarkoituksenmukaista valvoa myös muuntamon tärkeimpiä komponentteja. Hyvän kunnonvalvonnan avulla pystytään parantamaan merkittävästi muuntamon käyttövarmuutta. Sähköaseman komponenttien valvonnan tarkoituksena on estää vikojen syntymistä. Lisäksi tällä pyritään havaitsemaan mahdolliset piilevät viat jo ennen, kuin ne ehtivät vioittamaan tai tuhoamaan muuntamon toiminnan kannalta tärkeitä laitteita. Tehokasta kunnonvalvontaa voidaan hyödyntää myös silloin, kun määritellään sähkölaitteen järkevää ja taloudellista huoltoväliä. (Mörsky 1992: 416–423.)

13.2 Muuntajat

Öljyn ja käämien lämpötila sekä eristeiden kosteus ja puhtaus ovat asioita, jotka vaikuttavat muuntajan vanhenemiseen. Muuntajan jännitteet ja virrat aiheuttavat termisiä, mekaanisia ja sähköisiä rasituksia muuntajan eristeille. Eristeiden vanheneminen asettaa rajoituksia muuntajan kuormitettavuudelle. Kun kuormitetaan ilmajäähdytteistä muuntajaa jatkuvalla nimellisteholla, ympäristön lämpötilan ollessa $+20^{\circ}\text{C}$, saa muuntajan käämin kuumin piste olla enintään $+98^{\circ}\text{C}$. Tällöin eristeiden vanheneminen on vielä normaalia. Jos käämin kuumimman pisteen lämpötila nousee 6°C sallitun rajan yläpuolelle, kaksinkertaistuu eristeiden vanhenemisnopeus. Tämä tarkoittaa kääntäen sitä, että jokaista ylittävää 6°C kohden, muuntajan käyttöikä lyhenee puoleen. Vastaavasti muuntajaa voidaan kuormittaa nimellisvirtaansa enemmän, jos ympäristön lämpötila on alle $+20^{\circ}\text{C}$. (Mörsky 1992: 416–423.)

13.3 Katkaisijat

Kaikista katkaisijoiden vikatilanteista, yli 70 prosentissa tapauksista, aiheuttajana on mekaaninen vika. Katkaisijoilla suoritettavat kytkentätoimenpiteet ovat tavallisesti melko harvinaisia, minkä takia osien kuluminen on melko vähäistä. Tästä syystä pitkäaikaisesta toimimattomuudesta aiheutuva mekaaninen jäykistyminen voi muodostua ongelmaksi. Useimmiten katkaisijan viat syntyvät sen ohjausjärjestelmän osissa. Sähköiset viat katkaisijoissa ovat harvinaisia. Jos niitä ilmenee, ovat ne lähes poikkeuksetta apuvirtapiireissä. (Mörsky 1992: 416–423.)

Perinteisesti katkaisijat on huollettu tietyin aikavälein. Huoltovälin pituus on yleensä määriteltä valmistajan ohjeissa. Huoltovälin pituuteen vaikuttavia tekijöitä ovat:

- katkaisumäärät
- katkaistut virrat
- käyttöaika
- toimintaolosuhteet
- katkaisijatyypit.

Käyttöönoton yhteydessä katkaisijoille tehdään koestus, jossa todetaan katkaisijan täyttävän sille asetetut vaatimukset. Koestuksen yhteydessä katkaisijalle määritellään myös toimintasuureiden perusarvot. Myöhemmin huoltojen yhteydessä, tehtävistä kunnossapitomittauksista saatuja mittaustuloksia verrataan näihin toimintasuureiden perusarvoihin. Katkaisijan kunnan arvioimisessa käytetään apuna muun muassa seuraavia toimintasuureita:

- katkaisijan toiminta-ajat
- napojen toiminnan samanaikaisuus
- koskettimien liikediagrammi
- koskettimien ylimenoresistanssi
- katkaisijan väliaineen kunto
- katkaisijajyksiköiden lämpeneminen
- ohjaimen värähtely.

Katkaisijat ovat varustettu toimintakertojen laskurilla. huoltotarpeiden selvittämiseksi tulisi katkaisuvirran suuruus mitata jokaisella katkaisukerralla erikseen. Tulosten perusteella määritellään kumulatiivinen virtarasitus, koska katkaisuvirran kasvaessa myös sen aiheuttamat rasitukset kasvavat. Tämä voidaan toteuttaa esimerkiksi numeerisilla releillä, koska ne pystyvät mittaamaan sekä toimintakerrat että laukaisuhetken virran. Mitatut tiedot tallennetaan, jolloin niitä voidaan myöhemmin käyttää hyödyksi huollon tarvetta määriteltäessä. (Mörsky 1992: 416–423.)

13.4 Ylijännitesuojat

Ylijännitesuojissa on purkauslaskurit, joiden avulla lasketaan niiden toimintakerrat. Laskuri sijoitetaan ylijännitesuojan maadoitusjohtimeen. Metallioksidisuojissa on laskuriin lisätty virtamuuntaja, joka mittaa suojan läpi menevää jatkuvaa vuotovirtaa. Metallioksidi suojan ikääntyessä suojan resistiivinen vuotovirta kasvaa. (Mörsky 1992: 416–423.)

13.5 Eristimet

Valmistusvaiheessa eristimiin voi muodostua esijännityksiä. Ne voivat aiheuttaa ajan saatossa eristimiin hiushalkeamia. Kiinteään eristeeseen voi valmistuksessa jäädä niin sanottuja kaasunteloita. Onteloissa tapahtuu osittaispurkauksia, joiden seurauksena eristeen sisään syntyy puumaisia hiushalkeamia. Vähäinenkin kosteus halkeamissa saa yleensä aikaan halkeamien suurenemisen. Tavallisesti halkeamia muodostuu eristimen juureen, mutta joskus niitä voi esiintyä myös eristimen yläosassa. Katkaisijoiden, erottimien ja virtamuuntajien posliinieristimien kunto voidaan varmistaa suorittamalla eristimille ultraäänimittaus. (Mörsky 1992: 416–423.)

13.6 Lämpökuvaus

Lämpökameraa käytetään melko yleisesti sähköalalla johto- ja kiskoliitoksien tai sähkölaitteiden lämpenemisen mittaamiseen. Löysät liitokset aiheuttavat lämpenemistä, minkä seurauksena ne näkyvät selvästi lämpökamerakuvauksessa. Jos liitos lämpenee

liikaa, voi olla vaarana liitoksen kiinnihitsautuminen. Kun tällainen ylikuumentuminen on havaittu, pitää seuraavaksi selvittää, että aiheuttaako sen löysä liitos vai onko kyseessä epäsymmetrisestä kuormasta johtuva yhden vaiheen ylikuumentuminen. (Mörsky 1992: 416–423.)

Lämpökameralla voidaan mitata kuvauskohteen pinnan lämpötilaa sen lähettämän infrapuna- eli lämpösäteilyn perusteella. Kuvattavan kappaleen lähettämät lämpösäteet ohjautuvat kameran optiikan kautta kameran ilmaisimelle. Lämpökameran mittaama lämpötilajakauma muunnetaan värijakaumaksi, mikä tulostuu kameran näyttöruudulle reaaliajassa. (Mörsky 1992: 416–423.)

14 Käytännön esimerkkejä

14.1 Lähtökohdat muuntamon saneerauksessa

14.1.1 Kohteen kuvaus

Kohteena on toimistorakennus, joka on valtaosaltaan toimistokäytössä. Kiinteistössä on myös liike- ja tuotantotiloja sekä huolto- ja IT-palveluita. Toiminta kohteessa keskittyy pääasiassa normaaliin virka-aikaan, mutta Osa kiinteistössä tapahtuvasta toiminnasta on ympärivuorokautista. Tämä asettaa omat vaatimuksensa sähkönjakelun luotettavuudelle. Kiinteistö on rakennettu 1980-luvun alkupuolella ja sitä on laajennettu 1990-luvulla. Myös rakennuksen sähköasennukset on tehty edellä mainittuina ajankohtina. Kiinteistön pääkeskukset ovat alkuperäisiä ja osaan niistä on tehty laajennuksia 1990-luvun laajennustöiden yhteydessä. Kiinteistössä oleva sähkölaitteisto kuuluu luokkaan 2, jolle määräaikais-tarkastukset kuuluu tehdä 10 vuoden välein.

14.1.2 Toiminnan tavoitteet

Kiinteistössä tapahtuva toiminta edellyttää sähkönjakelulta luotettavuutta. Sähkönjakelun katkeamisesta aiheutuvat riskit ja mahdolliset vahingot haluttiin välttää. Vaatimuksena oli, että mikään kiinteistössä tapahtuva toiminta, kuten esimerkiksi muutostyöt, ei saa aiheuttaa katkoksia sähkönjakeluun. Sähkönjakelun luotettavuuden lisäksi haluttiin sähköenergian kulutuksen mittaus päivittää vastaamaan nykyistä tilannetta. Tarkemmin sanottuna, jokaiselle vuokralaiselle tulisi järjestää oma sähköenergian mittaus, jolloin sähkönkulutuksen mukaan tehtävästä laskutuksesta ei synny tulkinnanvaraisia ristiriitoja.

14.1.3 Havaitut ongelmakohdat

Kiinteistössä on kolme muuntajaa; M1, M2 ja M3. Jokainen muuntaja syöttää omaa pääkeskustaan; PK1, PK2 ja PK3. PK1 syöttävä muuntaja M1 on teholtaan 500 kVA:ta

ja Muuntajat M2 ja M3 ovat kumpikin tehoiltaan 1000 kVA:ta. Muuntajien kapasiteetit, pääkeskuksista mitatut huippukulutukset sekä vielä käytettävissä oleva reservitehot ovat esitetty taulukossa 11.

Taulukko 11. Muuntajien kuormitukset ja käytettävissä olevat reservit

<i>Muuntaja</i>	<i>Kapasiteetti (kVA)</i>	<i>Huippukulutus (kVA)</i>	<i>Käytettävät reservit (kVA)</i>
<i>M1</i>	<i>500</i>	<i>PK1 = 310</i>	<i>190</i>
<i>M2</i>	<i>1000</i>	<i>PK2 = 518</i>	<i>482</i>
<i>M3</i>	<i>1000</i>	<i>PK3 = 708</i>	<i>292</i>

Pääkeskuksien välillä on 1800 A:n kiskosillat, joiden avulla voidaan tarvittaessa pääkeskuksia yhdistää tai erottaa toisistaan. Tällainen tilanne voi syntyä jos esimerkiksi yksi muuntajista vikaantuu tai muuntajalle tehdään huoltokatko. Silloin yksi muuntaja joutuisi syöttämään kahta keskusta samanaikaisesti.

Taulukossa 11 esitettyjen huippukulutusten perusteella huomataan, että jos muuntaja M2 tai M3 vikaantuu, on siitä seurauksena merkittäviä sähkönsyöttöön kohdistuvia ongelmia. Havaitut ongelmakohdat ovat:

- muuntaja M1 ei pysty syöttämään pienen kapasiteettinsa takia kahta pääkeskusta huippukulutuksella
- muuntajan M2 kapasiteetti ei ole riittävä syöttämään sekä PK2:sta että PK3:sta
- muuntajan M3 kapasiteetti ei ole riittävä syöttämään sekä PK2:sta että PK3:sta

14.1.4 Ongelman ratkaisu

Tilanne paranisi merkittävästi, jos muuntaja M1 korvattaisiin uudella kapasiteetiltaan joko 1250 tai 1600 kVA:n muuntajalla. Muuntajien kapasiteetit, pääkeskuksista mitatut huippukulutukset sekä vielä käytettävissä oleva reservitehot uudistuksen jälkeen ovat esitetty taulukossa 12.

Taulukko 12. Muuntajien kuormitukset ja käytettävissä olevat reservit muuntajan vaihdon jälkeen

<i>Muuntaja</i>	<i>Kapasiteetti (kVA)</i>	<i>Huippukulutus (kVA)</i>	<i>Käytettävät reservit (kVA)</i>
<i>M1</i>	<i>1600</i>	<i>PK1 = 310</i>	<i>1290</i>
<i>M2</i>	<i>1000</i>	<i>PK2 = 518</i>	<i>482</i>
<i>M3</i>	<i>1000</i>	<i>PK3 = 708</i>	<i>292</i>

Muuntajan M1 uusimisen jälkeen yhden muuntajan vikaantuminen tai muuntajaan kohdistuva huoltotyö aiheuttaisivat vain lyhyen käyttökatkoksen. Kahden toiminnassa vielä olevan muuntajan kapasiteetti riittäisi takaamaan sähkönsyötön kaikkiin kolmeen pääkeskukseen seuraavasti:

- muuntaja M1:n vikaantuessa, muuntaja M2 syöttää PK1:stä sekä PK2:sta ja muuntaja M3 syöttää normaalisti PK3:sta
- muuntaja M2:n vikaantuessa, muuntaja M1 syöttää PK1:stä sekä PK2:sta ja muuntaja M3 syöttää normaalisti PK3:sta
- muuntaja M3:n vikaantuessa, muuntaja M1 syöttää PK1:stä sekä PK3:sta ja muuntaja M2 syöttää normaalisti PK2:sta.

Edellä esitettyjen muutoksien perusteella muuntajan M1 uusiminen parantaa sähkölaitteiston vikasietoisuutta kiinteistössä huomattavasti. Saneerauksen yhteydessä, sähkösyötön luotettavuuden lisäksi, suureni myös käytettävissä olevan reservitehon määrä niin, että sillä pystytään vastaamaan kasvavaan sähkönkulutukseen myös tulevaisuudessa.

14.2 Esimerkki muuntajanvaihtotyön yhteydessä havaitusta ongelmasta

14.2.1 Työn lähtökohdat

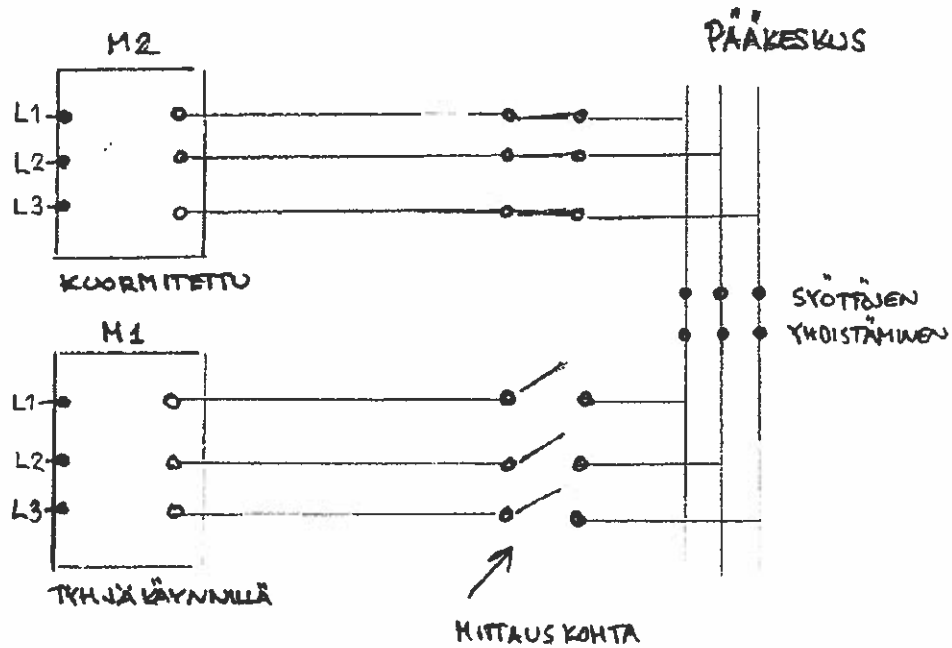
Eräessä saneerauskohteessa vaihdettiin vanha öljymuuntaja uuteen, teholtaan suurempaan 800 kVA:n valuhartsieristeiseen kuivamuuntajaan. Kohteessa oli kaksi muuntajaa, muuntajat M1 ja M2, joista toinen oli käytössä ja toinen oli huoltotöitä ja vikatilanteita varten varalla. Muuntamotilan luonnollinen ilmanvaihto ei ollut riittävä, joten saneerauksen yhteydessä sinne rakennettiin myös koneellinen ilmanvaihto. Näin voitiin välttyä muuntajan käyttöiän lyhenemiseltä, joka aiheutuu kohonneesta lämpötilasta.

14.2.2 Parannusehdotus, joka johti ongelman havaitsemiseen

Työsuunnittelun edetessä heräsi kysymys, että miksi ei voitaisi käyttää molempia muuntajia rinnakkaiskäytöllä. Tällöin sähkönkäytön normaalissa tilanteessa on kumpikin jakelumuuntaja kytketty päälle siten, että M1 syöttää pääkeskuksen lohkoa 1 ja M2 syöttää pääkeskuksen lohkoa 2. Siten muuntajien kuormitus ja lämpeneminen olisi pienempää ja välttyttäisiin lämmöstä aiheutuvista ongelmista.

Asiaa ruvettiin toteuttamaan kun tilaajalta saatiin ensin hyväksyntä asialle. Toteutusta suunniteltaessa huomattiin, että pienjännitepääkeskuksen pääkatkaisijan luona oli kilpi, jossa sanottiin, että syöttöjen yhdistäminen on kielletty. Kuitenkin muuntamon pääkaavion ja muiden dokumenttien perusteella ei yhdistämiselle pitänyt olla mitään estettä. Ristiriitatilanteen takia ei syöttöjä tietenkään voitu yhdistää, vaan piti ensin selvittää asian todellinen tila. Etenkin suurjännitetöiden osalta on työturvallisuuteen kiinnitettävä erityistä huomiota, jotta välttyttäisiin vaaratilanteilta.

Muuntajan vaihtotöiden yhteydessä selvitettiin ensin pääkeskusta syöttävien kaapelien vaihejärjestykset. Mittauksen toteutusperiaate on kuvattu kuvassa 22.



Kuva 22. Pääkeskusta syöttävien kaapelien vaihejärjestyksen mittaamisen toteutus

Muuntajien ja pääkeskuksen väliset kaapelit oli merkitty ja mitattu, joten niissä ei voinut olla vikaa. Ristiriitatilanteen selvittämiseksi tehdyt mittaukset ja saadut tulokset on esitetty taulukossa 15.

Taulukko 15. Suoritetut vaiheiden väliset mittaukset ja niistä saadut tulokset

<i>Suoritettu mitta</i>	<i>Mittaustulos (V)</i>
<i>(M1) L1 - (M2) L1</i>	<i>223,6</i>
<i>(M1) L1 - (M2) L2</i>	<i>245,0</i>
<i>(M1) L1 - (M2) L3</i>	<i>471,0</i>
<i>(M1) L2 - (M2) L1</i>	<i>467,1</i>
<i>(M1) L2 - (M2) L2</i>	<i>222,0</i>
<i>(M1) L2 - (M2) L3</i>	<i>244,7</i>
<i>(M1) L3 - (M2) L1</i>	<i>246,0</i>
<i>(M1) L3 - (M2) L2</i>	<i>470,0</i>
<i>(M1) L3 - (M2) L3</i>	<i>224,6</i>

Mittauksien perusteella huomattiin, että jotain oli vialla, koska mittaustuloksien ei kuuluisi olla saatujen kaltaisia. Jos oletetaan, että molemmilla muuntajilla on sama vaihejärjestys, tulisi mittaustuloksien olla seuraavan kaltaisia:

- vaiheen ja maan välinen jännite on noin 230 V
- vaiheiden välinen jännite on noin 400 V
- M1 (L1) – M2 (L1) jännite pitäisi olla 0 V

Eri muuntajien (M1 ja M2) samojen vaiheiden välinen jännite pitäisi olla siis 0 V. Näin ei kuitenkaan ollut, joten selvitystä jouduttiin jatkamaan. Saatujen tuloksien pohjalta heräsi kysymys, voiko olla mahdollista, että muuntajia syöttävät suurjännitekaapelien vaihejärjestys olisi ristissä. Asiaa selvitettiin ja todettiin, että suurjännitekaapelien vaihejärjestys ei täsmää vaikka muuntamon pääkaavio niin sanookin.

14.2.3 Ongelman ratkaisu

suurjännitekaapelien vaihejärjestyksen korjaaminen ei vielä yksistään ollut riittävä toimenpide ongelman ratkaisemiseksi. Tämän lisäksi jouduttiin vielä järjestämään suurvirtajärjestelmien kaapelipakat uudelleen. Muuntajan syötön vaihejärjestyksen vaihtaminen vaikuttaa luonnollisesti myös muuntajan alajännitepuolen kaapeleihin.

Edellä esitettyjen toimenpiteiden seurauksena voitiin kohteessa saneerauksen jälkeen käyttää muuntajia myös rinnakkain. Näin kuormitus saatiin jaettua tasaisesti kummankin muuntajan kesken. Saneerauksen yhteydessä muuntamotiloihin rakennetulla koneellisella ilmanvaihdolla päästiin eroon aikaisemmin muuntamoista vaivanneesta lämpenemisongelmasta.

14.3 Lämpökuvaus esimerkki

14.3.1 Tehtävän määrittely

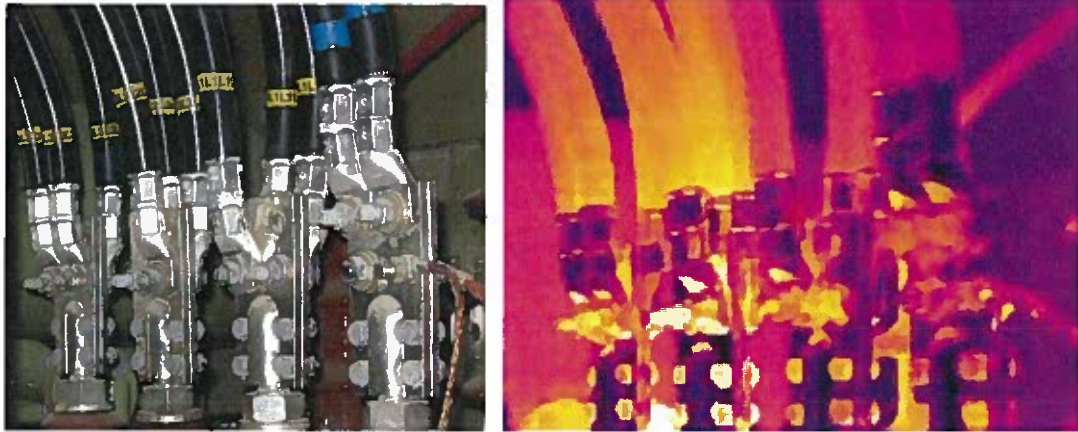
Eräässä muuntamokohteessa oli suunniteltu huoltokatkoa seuraavalle kesälle. Huolto-kohteena oli jäähalli, jossa toiminta on vilkkaimmillaan lähinnä syksyllä, talvella ja keväällä. Tämän takia on siis luonnollista, että sähkökatkoa vaativat huoltotoimenpiteet tehdään kohteessa kesäloma-aikaan, jolloin hallissa ei ole toimintaa. Toimeksiannon mukaan kohteessa piti suorittaa lämpökuvaus, jolla löytyisi mahdolliset löysät liitokset, ennen kesällä tehtävää huoltokatkoa. Näin tarvittavat liitoksien kiristykset voitaisiin tehdä huoltokatkon yhteydessä.

Tarkoituksena oli suorittaa lämpökuvaus keskijännitekojeistolle, muuntajalle sekä pää- ja nousukeskukselle. Kuvauksella haluttiin selvittää, onko sähkökojeisiin syntynyt ajan myötä löysiä liitoksia. Löysät liitokset lämpenevät ja näin ollen ne tulevat näkyviin lämpökuvauksessa. Kysymys oli aiheellinen, sillä yksi nousukeskuksen lähdoistä kävi melko kuumana. Kyseinen lähtö syötti kohteeseen lähiaikoina rakennettua uutta lisärakennusta, joka oli osaltaan selvästi lisännyt sen kuormitusta. Kun sähkön kulutus kasvaa, on siitä seurauksena myös kaapeleiden ja kojeiden lämpötilan nouseminen. Johtuiko keskuksen lämpeneminen löysistä liitoksista vai oliko kysymyksessä kuormituksesta tai sen epätasaisuudesta aiheutunut lämpeneminen. Näiden kysymyksiä perusteella oli aiheellista tehdä lämpökuvauksen lisäksi myös sähkön laatuun keskittyviä mittauksia.

14.3.2 Mittauksien tekeminen

Ensimmäisenä kytkettiin verkkoanalysointilaite mittaamaan keskuksen kuormitusta. Analysointilaitteen olisi hyvä antaa mitata kohdetta vähintään vuorokausi, että saataisiin mahdolliset kuormituksen vuorokausivaihtelut näkyviin. Kun analysointilaite suoritti mittauksiaan, voitiin keskittyä lämpökuvaukseen. Ensin kuvattiin lämpökameralla kojeiston ja muuntajan liitokset. Sen jälkeen kuvattiin pääkeskus ja nousukeskuksen lähdot. Mittaukset pitäisi tehdä huippukuormituksen aikana, että saadaan todellinen

kuva kohteen kuormituksesta. Kuvassa 23 on sekä normaali valokuva että lämpökamerakuva muuntajan Pienjännitepuolen liittimistä.



Kuva 23. Muuntajan pienjännitelitistimet

14.3.3 Mittaustuloksien tulkinta

Lämpökuvauksen tuloksena todettiin, ettei kojeistossa, muuntajassa tai keskuksissa ollut löysiä liitoksia. Verkkoanalysointorilla tehdyn kuormitusmittauksen tuloksena nähtiin, että kohteen kuormitus oli korkea, lähellä sen sallittua ylärajaa. Kuormitus oli kuitenkin melko tasaista ja laadullisesti hyvällä tasolla. Tämän perusteella päädyimme siihen lopputulokseen, että liitoksen olivat kunnossa ja nousukeskuksen syöttölohkon kuumeneminen aiheutui suuresta kuormasta. Huoltohenkilökunnan havaintojen perusteella tarkastettiin vielä muutama lisäkohde. Yhden ryhmäkeskuksen syöttöliittimessä oli havaittu värimuutosta muihin liittimiin verrattuna. Lämpökuvauksen perusteella selvisi, että yhdessä keskuksen syöttöliittimessä oli löysää (kuva 24).



Kuva 24. Löysä liitos keskuksen syöttöliittimessä

15 Yhteenveto

Tässä insinööriyössä selvitettiin kiinteistömuuntamon rakentamiseen liittyviä asioita sähköurakoitsijan näkökulmasta. Työssä käytiin läpi muuntamoille asetettuja vaatimuksia sekä rakentamiseen liittyvät osapuolet ja heidän tehtävät ja vastuut. Työssä käsiteltiin muuntamotiloja sekä sen tärkeimpiä laitteita. Lisäksi selvitin muuntamoille luonteenomaisia erityispiirteitä ja kävin läpi tarkastus- ja kunnossapito käytäntöjä. Lopussa esittelin kolmen käytännön esimerkin avulla, minkälaisia käytännötilanteita voi muuntamokohteissa tulla vastaan.

Tämän opinnäytetyön tuloksena syntyi hyvä työkalu ja yleisohje muuntamoiden rakentamiseen urakoitsijan näkökulmasta. Tarkoituksena oli kerätä kasaan projektin hoitoa tukeva käytännön ohjeistus, josta on hyötyä Amplit Oy:n projekti-insinööreille ja -päälliköille. Koen, että tämän insinööriyön tekeminen on ollut hyödyllistä myös itselleni, sillä tavoitteenani on jatkossa työskennellä muuntamoiden parissa. Tämä työ on antanut siihen hyvät perustiedon.

Lähteet

- ABB:n TTT-käsikirja (2007). *Mittaus-, ohjaus- ja suojauslaitteistot*. Verkkodokumentti. <http://heikki.pp.fi/abb/101_0007.pdf>. Luettu 27.4.2011.
- Ahokas, I. & E. Hilpi (2010). *Sähköalan säännökset 2010*. Espoo: Henkilö- ja yritysarviointi Seti Oy
- Annanpalo, J., P. Koivisto, T. Nurmi, R. Roine, A. Saastamoinen, S. Taimisto, E. Tiainen, T. Ylinen (2007). *Maadoituskirja*. Espoo: Sähköinfo Oy.
- Aura, L. & A. Tonteri (1993). *Sähkölaitostekniikka*. Porvoo: WSOY:n graafiset laitokset.
- Björkman, M., A. Honkala, H. Marttila, L. Kettunen, P. Koivisto, A. Konttinen, H. Mustonen, S. Taimisto & T. Ylinen (2008). *EMC ja rakennusten sähkötekniikka*. Espoo: Sähköinfo Oy.
- Elovaara, J. & L. Haarla (2011). *Sähköverkot II. Verkon suunnittelu, järjestelmät ja laitteet*. Helsinki: Otatieto Oy.
- Elovaara, J. & Y. Laiho (1999). *Sähkötekniikan perusteet*. Helsinki: Otatieto Oy.
- Hyytiä, K., S. Jokinen, V. Kauppi, K. Koskela, E. Laakkonen, J. Laine, U. Lähteenmäki, S. Packalen, T. Perttula & C. Siven (2010). *Paloilmoittimen suunnittelu, asennus, huolto ja kunnossapito*. Espoo: Sähköinfo Oy.
- Keskijänniteliittyjien muuntamot, 2.02*. (2009). Verkkodokumentti. Helen Sähköverkko Oy. <<http://www.helen.fi/urakoitsijat/urakointiohjeet/SU20209.pdf>>. Luettu 4.5.2011.
- Mittalaitetilat ja lukitus, 3.03*. (2009). Verkkodokumentti. Helen Sähköverkko Oy. <<http://www.helen.fi/urakoitsijat/urakointiohjeet/Su30309.pdf>>. Luettu 4.5.2011.
- Monni, M. (2005). *Sähköverkkoasennukset*. Hämeenlinna: Adato Energia Oy.
- Muuntamon toteuttamisesimerkkejä, 2.02 Liite1*. 2009. Verkkodokumentti. Helen Sähköverkko Oy. <<http://www.helen.fi/urakoitsijat/urakointiohjeet/SU20209L1.pdf>> Luettu 4.5.2011.
- Mörsky, J. (1992). *Relesuojaustekniikka*. Helsinki: Otatieto Oy.
- Releasettelut, 2.02 Liite2*. (2009). Verkkodokumentti. Helen Sähköverkko Oy. <<http://www.helen.fi/urakoitsijat/urakointiohjeet/SU20209L2.pdf>>. Luettu 4.5.2011.
- RT 92-10774 (2002). *Muuntamotila rakennuksessa*. Rakennustietokortisto. Helsinki: Rakennustieto Oy.
- SFS 6000 (2009). *Pienjännitesähköasennukset*. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS Ry.

SFS 6001 (2009). *Suurjännitesähköasennukset*. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS Ry.

SFS 6002 (2007). *Sähkötyöturvallisuus*. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS Ry.

ST 53.11 (2003). *Kaapeliliitännäiset sähkökäyttäjän muuntamot*. Sähkötietokortisto. Espoo: Sähköinfo Oy.

Standardit ja yleisohjeet, 3.01. (2009). Verkkodokumentti. Helen Sähköverkko Oy. <<http://www.helen.fi/urakoitsijat/urakointiohjeet/SU30109.pdf>>. Luettu 4.5.2011.

Sähköliittymä, 2.01. (2009). Verkkodokumentti. Helen Sähköverkko Oy. <<http://www.helen.fi/urakoitsijat/urakointiohjeet/SU20109.pdf>>. Luettu 4.5.2011.

Toimintatavat, 3.02. (2009). Verkkodokumentti. Helen Sähköverkko Oy. <<http://www.helen.fi/urakoitsijat/urakointiohjeet/SU30209.pdf>>. Luettu 4.5.2011.

Yleisohjeet, 1.01. (2009). Verkkodokumentti. Helen Sähköverkko Oy. <<http://www.helen.fi/urakoitsijat/urakointiohjeet/SU10109.pdf>>. Luettu 4.5.2011.

Yli 1000V laitteistoja koskevat hoito-ohjeet 4.04. (2009). Helen Sähköverkko Oy. <<http://www.helen.fi/urakoitsijat/urakointiohjeet/SU40409.pdf>>. Luettu 4.5.2011.

Liitteet

Liite 1. Keski-jänniteliittyjän muuntamon maadoituskaavio

