

Vesa Kauppinen

MUUNTAMON SÄHKÖSUUNNITTELU

MUUNTAMON SÄHKÖSUUNNITTELU

Vesa Kauppinen
Opinnäytetyö
Syksy 2022
Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-
ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma, Sähkötekniikka

Tekijä: Vesa Kauppinen

Opinnäytetyön nimi: Muuntamon Sähkösuunnittelu

Työn ohjaajat: Ismo Pitkänen, Joonas Kupila

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Syksy 2022

Sivumäärä: 79

Tämä opinnäytetyö on tehty Elvak Oy:lle tutkimustyönä täydentämään yrityksen sisäistä osaamista muuntamosuunnitteluun. Työssä on käytetty olemassa olevaa kirjallisuutta muuntamosuunnittelusta ja täydennetty tietoa alan ammattilaisilta ja valmiista tuotteista. Kirjallisuuden lisäksi työssä on viitattu muuntamosuunnittelun ratkaisuja varten myös asetuksiin ja määräyksiin, joita muuntamosuunnittelussa on noudatettava. Työn tavoitteena oli saada muuntamon sähkösuunnittelusta perustason suunnitteluohje, jonka avulla uusi sähkösuunnittelija pystyy tekemään valmiit muuntamosuunnitelmat ja havainnoimaan aihealueeseen liittyvät asiakokonaisuudet.

Työssä keskitytään pääsääntöisesti puisto- ja kiinteistömuuntamoihin, koska ne palvelevat yrityksen suunnittelua. Työssä on sivuutettu isolta osin pylväsmuuntamot ja isot teollisuuskokonaisuudet.

Työn lopputuloksena muuntamon sähkösuunnittelusta on laadittu Excel-pohjainen tarkistuslista, jonka tarkoitus on edesauttaa suunnitelmien laadun varmistusta ja huomioimaan suunnitelmista tarkistettavat yksityiskohdat. Tarkistuslista on yrityksen sisäiseksi jäävä työkalu.

Asiasanat: jakelumuuntaja, keskijännitekojeisto, keskijänniteliittymä, kiinteistömuuntamo, sähkönkäyttäjä, verkonhaltija

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree Programme in Electrical and Automation Engineering, Option of Electrical Engineering

Author: Vesa Kauppinen
Title of thesis: Design of Distribution Substation
Supervisors: Ismo Pitkänen, Joonas Kupila
Term and year when the thesis was submitted: Autumn 2022
Number of pages: 79

This thesis is done for Elvak Oy as research subject to complement the company's internal expertise in indoor distribution substations. The thesis uses existing literature as a basis for research, but also information from professionals in the field, as well as from ready-made products for distribution substations. Basis for this thesis was to have an informational baseline document, which a new electrical designer could use to do a complete electrical design on distribution substations and understand the main parts of the substations.

The main focus in this thesis is park and indoor substations, as those serve the design projects in the Elvak company. Pole transformers, big production site and electrical substations are omitted in this work.

As a result of the work an Excel based checklist was made, the purpose of which is to improve the quality control of the designs and to realize the main points in the designs that need to be checked. The checklist is an internal tool that will remain to be used in Elvak Oy.

Keywords: distribution transformer, medium voltage, indoor distribution substation, distribution network operator

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	7
2	MUUNTAMOITA KOSKEVIA MÄÄRÄYKSIÄ JA OHJEITA.....	8
3	KESKIJÄNNITEVERKKO	10
4	MUUNTAMON SUUNNITTELUVAIHEEN PERUSTIEDOT JA DOKUMENTIT	11
5	MUUNTAMOTYYPIT	13
5.1	Kiinteistömuuntamo.....	13
5.2	Erilliset muuntamot.....	15
5.3	Muuntamon sijoitus	16
6	MUUNTAJA	18
6.1	Muuntajan rakenne.....	20
6.2	Muuntajien kansirakenne.....	21
6.3	Muuntajien kytkennät	23
6.4	Öljyeristeiset muuntajat	25
6.5	Kuivamuuntaja.....	26
6.6	20 kV ja 10 kV muuntajat.....	28
6.7	Muuntajan valinta	28
6.8	Muuntajan mitoitus ja kuormitettavuus	29
6.9	Muuntajien rinnankytkentä.....	30
7	KOJEISTO	33
7.1	Kojeiston rakenne.....	33
7.2	Muuntamoiden pääkaavioiden esimerkkejä.....	36
7.2.1	Liittymiskenno	39
7.2.2	Pääkytkinkenno.....	40
7.2.3	Mittauskenno.....	41
7.2.4	Muuntajakenno	41
8	PÄÄKESKUS.....	42
9	KAAPELOINTI	46
9.1	Keskijännitekaapelit.....	46
9.2	Kiskosillat	48
9.3	Suurvirtajärjestelmä.....	50
10	MAADOITUS	54

10.1	Yhdistetyn suurjänniteverkon ja pienjänniteverkon maadoitusjärjestelmä.....	56
10.2	Laaja maadoitusjärjestelmä.....	60
10.3	Puistomuuntamon maadoitus.....	61
11	MUUNTAMON RAKENTEELLISET VAATIMUKSET.....	63
11.1	Paloturvallisuus.....	63
11.2	Sprinklaus.....	64
11.3	Valokaarisuojaus.....	66
11.4	Lattiarakenne.....	69
11.5	Ilmanvaihto.....	71
11.6	Muuntamon laitteiston tilavaraukset.....	73
11.7	Muut vaatimukset.....	75
12	MUUNTAMON SÄHKÖSUUNNITTELU TARKISTUSLISTA.....	78
13	POHDINTA.....	79
	LÄHTEET.....	80

1 JOHDANTO

Muuntamon sähkösuunnittelu on kokonaisuudessaan keskeinen osa isojen kiinteistöjen sähkösuunnittelussa, jossa sähkösuunnittelijan on pystyttävä sekä mitoittamaan että noudattamaan muuntamorakentamiseen liittyviä määräyksiä ja ohjeistamaan projektin muita toimihenkilöitä ja suunnittelijoita sähkötekniikan näkökulmasta. Sähkösuunnittelija pystyykin asemassaan olemaan kommunikaatioväylä eri toimijoiden välillä, jolloin muuntamon suunnittelussa päästään vaiheistamaan tarvittavat tiedot eri suunnittelualojen välillä ja varmistutaan muuntamon onnistumisesta käytännössä. Elvak Oy pyysi tekemään aiheesta tutkimustyön, joka palvelee sekä tekijänsä perehdyttämisen lisäksi myös dokumenttina, josta voidaan kootusti hakea tarvittava tieto muuntamoihin liittyen.

Vaikka muuntamon suunnittelu on pääpiirteissään selkeälinjaista, on se aihealueena laaja, kun otetaan huomioon sähkötekniset kokonaisuudet, rakenteelliset vaatimukset ja muut järjestelmät. Tämän opinnäytetyön tarkoitus on perehdyttää lukija muuntamoon liittyviin kokonaisuuksiin ja antaa perusvalmiudet muuntamon sähkösuunnitteluun. Työssä on esitetty muuntamon keskeiset kokonaisuudet osio kerrallaan ja pyritty avaamaan myös niiden taustoja ja ratkaisumalleja, joita muuntamoissa käytetään. Käytännössä työssä on pyritty esittämään, mitä määräykset ja standardit sanovat ja kuinka niitä ohjeissa ja käytännössä on noudatettu. Huomiota on myös kiinnitetty verkonhaltijoiden vaatimuksiin, joita on noudatettava liityttäessä heidän sähköverkkoonsa ja miten se vaikuttaa kuluttajamuuntamon suunnitteluun. Opinnäytetyö keskittyy pääsääntöisesti puistomuuntamoihin ja kiinteistöjen muuntamoihin, jotka ovat suunnitteluprojekteissa lähtökohtaisesti eniten esillä Elvak Oy:ssä.

Opinnäytetyön lopputuloksena tehtiin Elvak Oy:lle dokumentti, joka toimii sekä uuden suunnittelijan oppaana, mutta myös vanhempien suunnittelijoiden tarkistuslistana. Tarkistuslista mukaillee projektin etenemisen mukaista järjestystä, jolloin uusi suunnittelija voi nähdä tarkistuslistasta muuntamoon tarvittavat dokumentit ja huomiot projektin eri osissa. Tarkistuslistaa voidaan käyttää myös apuna omien suunnitelmien läpikäymisessä, jolloin voidaan varmistua, että suunnitelmissa on muistettu ottaa kantaa jokaiseen muuntamon suunnittelun kohtaan. Tarkistuslistan toivon auttavan suunnittelutyön lisäksi myös laadun varmistuksessa.

2 MUUNTAMOITA KOSKEVIA MÄÄRÄYKSIÄ JA OHJEITA

Sähköalaa säätelevät Suomessa useat määräykset, joista ylimpänä pätevyysjärjestyksessä toimii sähköturvallisuuslaki. Laki koskee sähköturvallisuuden lisäksi ns. sähkömagneettista yhteensopi-
vuutta. Sähköturvallisuuslain nojalla on annettu Valtioneuvoston asetus (1434/2016) sähkölait-
teistoista. Asetuksessa liitteessä annetaan sähkölaitteistoille yleiset turvallisuusvaatimukset, mut-
ta ei ohjeita siitä, miten turvallisuus toteutetaan. Kolmantena hierarkiassa ovat lisäksi ministeriöi-
den antamat päätökset. Muuntamoita koskevia lakeja ja asetuksia ovat muun muassa:

- Sähköturvallisuuslaki (1135/2016)
- Valtioneuvoston asetus sähkölaitteistoista (1434/2016)
- Valtioneuvoston asetus sähkölaitteiden ja -laitteistojen sähkömagneettisesta yhteensopi-
vuudesta (1436/2016)
- Valtioneuvoston asetus sähkölaitteiden turvallisuudesta (1437/2016)
- MRL maankäyttö- ja rakennuslaki (132/1999, 28/2016)
- MRL maankäyttö- ja rakennusasetus (895/1999, 119/2016)
- Ympäristöministeriön asetus 848/2017 rakennusten paloturvallisuudesta (julkaistu kortti-
na ST 11.56).

Muuntamon, kuten sähkölaitteistojen yleensäkin, katsotaan täyttävän asetuksessa edellytetyt
olennaiset turvallisuusvaatimukset, kun sähkölaitteisto suunnitellaan ja rakennetaan soveltaen
standardeja, joiden vastaavuuden olennaisiin turvallisuusvaatimuksiin Tukes on vahvistanut (1, s.
44).

Tukes listaa voimassa olevat sähkölaitteistojen turvallisuutta ja sähkötyöturvallisuutta koskevien
standardien luettelon, joista viimeisin on luettelo S10-2019. Tällaisia standardeja ovat muun mu-
assa tässäkin työssä viitattut standardit:

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

Lisäksi standardeihin perustuen on laadittu ohjeita. Tällaisia ohjeita ovat muun muassa:

- ST53.11, Kuluttajamuuntamot
- Tukes ohje 16/2017
- Verkostosuositus RM2:02 Muuntamotila rakennuksessa
- Verkostosuositus RM3:16, kaapeliliitäntäinen verkonhaltijan muuntamo
- Verkostosuositus RM7:98, valokaarioikosulun painevaikutus muuntamossa
- Energiateollisuus ry:n julkaisu. Sähköverkkojen aiheuttamat sähkö- ja magneettikentät.

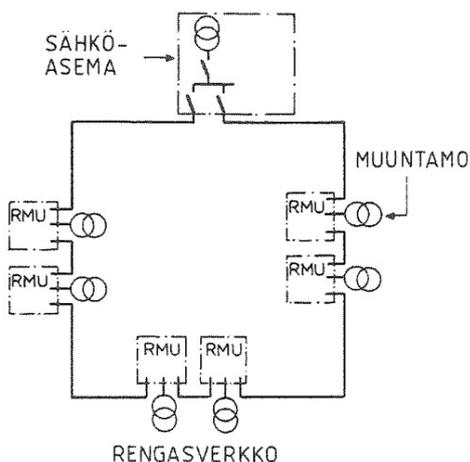
Verkonhaltijoilla voi lisäksi olla omia vaatimuksia keskijänniteliittymään kytkettäviin muuntamoihin. Näitä vaatimuksia voi olla esimerkiksi mittauksiin, tilavarauksiin, kaapelireitteihin ja kauko-ohjauksiin liittyen ja ne on aina tarkistettava erikseen alueen verkkoyhtiön ohjeistuksesta.

3 KESKIJÄNNITEVERKKO

Sähköverkot jaetaan käytetyn jännitetason perusteella siirto- ja jakeluverkkoihin. Siirtoverkkoihin kuuluvat Suomessa johdot, joiden jännite on 400, 200 ja 110 kV. Näistä 400, 220 ja tärkeimmät 110 kV johdot sekä sähköasemat muodostavat koko maan kattavan valtakunnallisen kantaverkon, joka yhdistää toisiinsa voimalaitoksia ja syöttöasemia. Kantaverkkoon kuulumattomat 110 kV johdot ja sähköasemat sekä harvinaiset 30 ja 45 kV johdot muodostavat eri sähköyhtiöiden omistaman alueverkon. Alueverkon kautta siirretään sähköä kantaverkosta jakeluverkkoon. (2, s. 1.)

Jakeluverkkoa käytetään sähkön siirtoon kulutusalueilla pienille ja keskisuurille sähkönkäyttäjille. Jakeluverkot voidaan jakaa edelleen keski- ja pienjänniteverkkoihin. Keskijännite Suomessa on useimmiten 20 kV, mutta joissain kaupungeissa käytetään edelleen myös 10 kV jännitteitä. Pienjänniteverkossa käytetään 400 V jännitettä ja tavalliselle sähkönkäyttäjälle tuttu 230 V jännite on pienjänniteverkon vaihejännite. Tavalliselle sähkönkäyttäjälle normaaleissa toimitilakiinteistöissä pienjänniteverkon käyttöjännite on sopivin laitteiden käytön kannalta. (2, s. 1.)

Keskijänniteverkko on tyypillisesti kuvan 1 mukainen rengasverkko, johon keskijänniteverkon muuntamot kytketään. Rengasverkon käyttövarmuus on säteittäistä verkkoa parempi, sillä rengasverkossa virtatienä on useampi reitti käyttökohteelle. Näin ollen yhden johdon vikaantuminen ei aiheuta vielä alueellista sähkökatkoa, eli uuden muuntamon kytkentä ei aiheuta käyttökatkoja muiden verkon käyttäjien osalta. Silmukkaverkon etuina on myös pienemmät jänniteenalenemat ja tehohäviöt, mutta haittapuolina suuremmat oikosulkuvirrat ja suojauksen monimutkaisuus. (2, s. 1.)



KUVA 1. Keskijänniteverkon periaatteellinen topologia (3, s. 139).

4 MUUNTAMON SUUNNITTELUVAIHEEN PERUSTIEDOT JA DOKUMENTIT

Sähkösuunnittelun alkuvaiheessa tulee arvioida kohteen vuotuinen sähköenergian tarve ja suurin tarvittava sähköteho. Sähköenergian tarpeen arvioinnin jälkeen tulee ottaa yhteys alueella toimivaan jakeluverkon haltijaan ja selvittää:

- sähkönsiirron maksut/hinnoittelu sekä suurjännitteellä että pienjännitteellä
- liittymisehdot ja liittymismaksut sekä suurjänniteliittymästä että pienjänniteliittymästä kyseeseen kohteeseen arvioidulla huipputeholla
- liittymisjohtojen poikkipinta, laji, lukumäärä ja reitti
- verkonhaltijan sähkönkäyttäjän muuntamo koskevat ohjeet
- saneerauskohteissa nykyiset suunnittelukohteen kiinteistössä olevat sähköliittymät ja niistä mahdollisesti saatava hyvitys, jos niitä poistetaan.

(4, s. 2.)

Jos huipputeho on alle 500 kW, on pienjänniteliittymä yleensä edullisempi. Vertailu pienjännite- ja keskijänniteliittymän välillä tulee kyseeseen tietysti riippuen kohteen koosta, jolloin molemmat vaihtoehdot olisivat mahdollisia. Pienissä kohteissa pääsääntöisesti ei ole kannattavaa tehdä liittymää keskijänniteliittymänä ja suuremmissa kohteissa pienjänniteliittymä on mahdotonta toteuttaa pienjännitteen aiheuttamien valtaviin virransiirtojen takia, joka aiheuttaa suuria vaatimuksia liittymiskaapeleihin ja alueverkkoon.

Kannattavuuden arviointiin vaikuttaa pelkän muuntamon rakentamisen ja kaikkien laiteinvestointien lisäksi myös muuntamon käytönjohtajan palkkaustarve, joka lisää juoksevia kuluja sähkönsiirron ja -hinnan lisäksi. Muuntamon käytönjohtajan tulee olla luonnollinen henkilö ja hänellä on oltava kelpoisuuden osoituksena pätevyystodistus, joka oikeuttaa johtamaan sähkötöitä myös suurjännitteellä. Muuntajat aiheuttavat myös häviökuluja muuntajan häviötehoon perustuen. Laskelmat on kuitenkin tehtävä koko kiinteistön käyttöänsä mukaan, jolloin saadaan todellinen arvio muuntamon alkuinvestoinnin kannattavuudesta.

Suunnitteluvaiheen tarvittavia perustietoja ovat:

- kuormituksen painopiste ottaen huomioon mahdolliset laajennukset
- päätös rakennetaanko muuntamo muun rakennuksen yhteyteen vai rakennetaanko erillinen muuntamorakennus tai kevyempi puistomuuntamo
- muuntamon pääkaavio, maadoituskaavio ja mittauspiirikaavio

- suurjänniteverkon mitoitusoikosulkuvirta ja maasulkuvirta
- muuntamon sähköiset arvot
- muuntamon tilantarve
- kojeistojen ja muuntajan haalausreitit
- käyttöhenkilökunnan kulkureitti
- sähkönlaskumittareiden sijoitus
- palotekniset vaatimukset
- muuntamon ilmanvaihto
- muuntamon aiheuttama melu ja häiritsevät magneettikentät.

(4, s. 3.)

Näiden tietojen perusteella sähkösuunnittelija laatii dokumenttiaineiston yhteistyössä arkkitehdin, rakennuttajan, LVI-, rakenne- ja paloteknisen suunnittelijan kanssa. Tähän dokumenttiaineistoon kuuluvat:

- asemapiirustus, josta selviää rakennuksen, muuntamon liityntäkaapelien ja muiden merkittävien maanalaisten johtojen ja reittien sijainti
- pääkaavio, yksiviivainen esitys, josta selviää muuntamon periaatteellinen järjestely, kojeiden ja laitteiden liittyminen toisiinsa sekä tärkeimmät tekniset tiedot
- maadoituskaavio sekä maadoituselektrodien rakenne ja sijainti
- tasopiirustus muuntamon sähköasennuksista (1:50)
- muuntamon rakennepiirustus leikkauksineen, jossa on esitetty lattiakanavat, ovet, ilmanvaihtaukot ja -kanavat sekä kojeiston sijoitus
- johtotiepiirustus liittymisjohtoja ja muita suurehkoja johtoja varten; liittymisjohtojen kulku näytetään sekä rakennuksessa että rakennuksen ulkopuolella
- sähkötyöselostus, jossa on kerrottu tarvittavat suunnitelmapiirustuksia ym. dokumentteja täydentävät yksityiskohdat.

(4, s. 3.)

Suunnittelija lähettää verkonhaltijalle asemapiirustuksen, pääkaavion, johtotiepiirustuksen, maadoituskaavion ja mittauspiirikaavion sekä liittymää, mittausta ja suojausta koskevat kohdat sähköselostuksesta alustavine aikataulutietoineen. Verkonhaltija tarvitsee yllä mainitut tiedot, koska sillä on sähkömarkkinalain mukainen vastuu mittauksesta ja verkonhaltija huolehtii myös suurjänniteverkon suojauskokonaisuudesta. (4, s. 3.)

5 MUUNTAMOTYYPIT

Jakelumuuntamoiden tarkoitus on muuntaa 10 kV tai 20 kV keskijännite tavallisen sähkökäyttäjän pienjännitejärjestelmään kytkettäväksi 400 V pienjännitteeksi. Muuntamalla tarkoitetaan sähkötilaa, jolle on aseteltu kiinteistön muuntaja, muuntajan kytkentään tarvittavat kojeistot, mahdollinen sähkökeskus sekä muut apujärjestelmät ja kytkentäkomponentit.

Keskijänniteverkon muuntamot on perinteisesti rakennettu ilmajohtoverkkoihin yleensä pylväsmuuntamoiksi ja taajama-alueilla kaapeliverkkoihin liitettäväksi puisto- ja kiinteistömuuntamoiksi. Maakaapeloinnin yleistyttyä myös maaseudun muuntamo on yhä useammin puistomuuntamo. (1, s. 43.)

Muuntamot ovat joko jakeluverkon tai sähkön käyttäjän hallinnassa. Riippumatta omistussuhteesta on muuntamoiden haltijoiden hoidettava ja sovittava monista asioista yhdessä jakeluverkon haltijan kanssa, koska muuntamot liitetään yleensä jakeluverkon haltijan hallinnassa olevaan keskijänniteverkkoon. Verkon erilaisiin kytkentä- ja käyttötilanteisiin liittyvän tiedon on oltava aina jakeluverkon haltijalla. (1, s. 43.)

5.1 Kiinteistömuuntamo

Jos kiinteistön tontilla ei ole tilaa rakentaa erillistä muuntamoita, on muuntamo sijoitettava rakennuksen sisälle. Kiinteistömuuntamo on yleensä erikseen palo-osastoitu huonetilana, jonka sijoitus on tarkkaan harkittu rakennuksen arkkitehtuuri, sähköliittymä ja muu talotekniikka huomioon ottaen. Yleensä helpoin ratkaisu on rakennuksen ulkoseinä, jolloin liittymiskaapeleiden reitti ja muuntajan kuljetus muuntamotilaan ei tuota ongelmia. Rakennukseen sijoitetussa muuntamossa ongelmana on myös häiritsevä melu ja magneettikentät. Jos muuntamo kuitenkin sijoitetaan kellarikerrokseen, tulee huomioida myös tulvarajat, sillä muuntamon ja siihen liittyvän kaapelitilan tulee sijaita tulvarajan yläpuolella. Kiinteistömuuntamon ja erillisen muuntamon sijoituksesta on käsitelty enemmän osassa 5.3.

Kiinteistömuuntamon tilantarpeeseen vaikuttaa suuresti käytettävä keskijännitekojeisto. SF₆-kaasueristeiset kojeistot ovat yleistyneet ilmaeristeisiin kojeistoihin verrattuna ja niiden tilantarve on huomattavasti pienempi. Muuntamon tilantarpeeseen vaikuttaa myös muun muassa käytetty

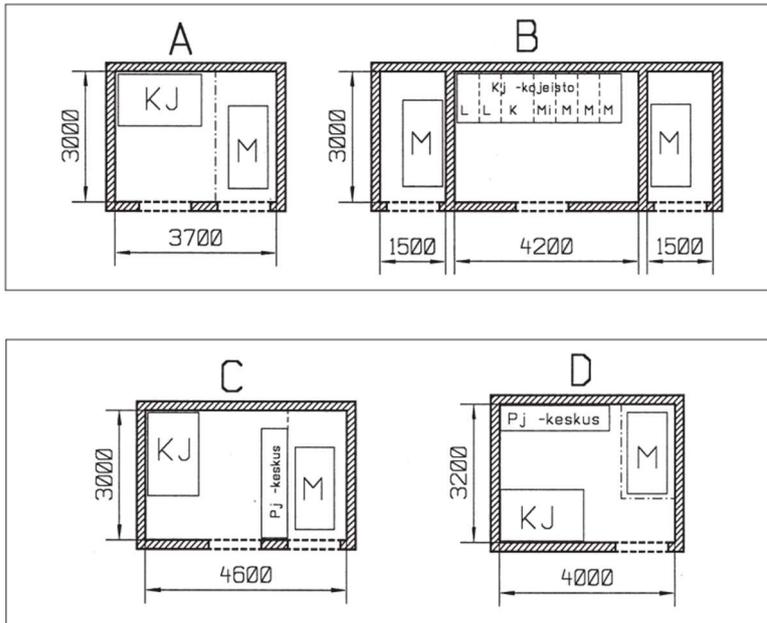
muuntajatyypin ja pienjännitekeskuksen sijoitus. Muuntamon tilan ym. tarpeet on huomioitava hankkeen kaikissa suunnitteluvaiheissa heti alusta lähtien. (4, s. 4.)

Kuvassa 2 on esitetty esimerkkejä erilaisista kiinteistöön sijoitetuista muuntamoratkaisista. A muuntamo on yhden enintään 1600 kVA muuntajan muuntamo, jossa pienjännitekeskus on erillisessä tilassa. Pistekatkoviivalla esitettyä suojaseinää ei tarvita, jos muuntajan rakenne on kosketussuojattu.

B muuntamossa on kaksi eri muuntajaa sijoitettu omiin palo-osastoihin. Keski-jännitekojeisto on koottu kennoista. Rakenne koostuu kahdesta liityntäkennosta, katkaisijakennosta, mittauskennosta ja kolmesta muuntajakennosta. Pienjännitekeskukset ovat omissa tiloissaan. Sähkön käyttäjän muuntamoissa pienjännitekeskukset ovat usein muuntajakohtaisia. (1, s. 47.)

C muuntamossa on sijoitettu pienjännitekeskus samaan tilaan muuntajan kanssa. Pienjännitekeskuksen ollessa muuntajan välittömässä läheisyydessä pienjännitepääjohdot (kiskot) tulevat mahdollisimman lyhyiksi ja hajamagneettikentät mahdollisimman pieniksi. Tämä malli on verkonhaltijoiden muuntamoissa. Muuntajatilalla tarvitsee lyhyen suojaseinän pienjännitekeskuksen päähän, jollei muuntajan rakenne ole kosketussuojattu. Verkonhaltijan jakelumuntamossa KJ-kojeisto on usein muuntamon takaseinällä ja muuntamotila voi olla vähän pienempi kuin kuvassa. (1, s. 47.)

D muuntamossa pienjännitekeskus on muuntamotilassa. Ovia tarvitaan vain yksi, mutta pienjännitepääjohto on vaikeammin asennettavissa kuin mallissa C ja hajamagneettikenttiä syntyy enemmän. Muuntaja tarvitsee pistekatkoviivalla piirretyn suojakennon, jos sitä ei ole kosketussuojattu. (4, s. 5.)



KUVA 2. Erilaisia kiinteistömuuntajatiloja ja muuntamon laitteiden sijoituksia (4, s. 5).

Kaikissa kuvan 2 malleissa tulee keskijännite- ja pienjännitekojeistojen alle rakentaa tarvittavat kaapelikanavat.

Muuntamotilojen suunnittelussa voi myös olla verkonhaltijan vaatimuksia, jotka on hyvä huomioida muuntamo suunnitellessa. Verkonhaltijalla voi olla esimerkiksi vaatimuksia muuntamotilan koosta ja laitesijainneista. Riippuen keskijänniteverkon rakenteesta voi kojeistoon olla tarve lisätä kolmas liityntäkenno useamman silmukoinnin rakentamiseksi rengasverkon sisälle. Tämän kolmannen liityntäkennon tilantarve tulee huomioida jo kojeiston tilavarauksissa. Tilavarauksissa tulee huomioida myös muut mahdolliset verkonhaltijan laitteet, kuten kaukokäyttölaitteiden ja niiden varavoimajärjestelmien sijoitus.

5.2 Erilliset muuntamot

Erillisen muuntamon sijoittamisessa tontinrajaan tai rakennuspaikan läheisyyteen on otettava huomioon, mitä rakennuslainsäädöksissä ja paikallisessa rakennusjärjestyksessä sekä asema-kaavamääräyksissä sanotaan. Erilliselle muuntamolle haetaan rakennuslupa, jos paikallinen rakennusvalvontaviranomainen sitä vaatii. Jos lupaa ei vaadita, tulee muuntamolle kuitenkin hakea rakennusasetuksen (MRA) 62 § mukainen toimenpidelupa, ellei kunnan rakennusjärjestyksessä ole muuntamoiden rakentamista vapautettu tästäkin velvoitteesta, kuten rakennusasetuksen 63 § mahdollistaa. (4, s. 7.)

Erilliset muuntamot voivat olla joko erillisiä rakennuskoppeja, joihin muuntamon laitteistot on sijoitettu, mutta yhä useammin erillinen muuntamo voi olla äärimmilleen pelkistetty ns. puistomuuntamo (kuva 3). Puistomuuntamo on yleensä tehdasvalmis kokonaisuus, joka itsessään sisältää muuntajan lisäksi keskijännitekojeiston ja pienjännitekeskuksen. Usein puistomuuntamot ovat tilattavana modulaarisena, jolloin muuntamokokonaisuuteen saadaan valinnanvaraa käyttötarkoitusta varten. Kuvan 3 puistomuuntamo voidaan asettaa sellaisenaan tiivistetylle soraperustalle valmistajan ohjeiden mukaisesti.



KUVA 3. UTU Oy puistomuuntamo (5, s. 1).

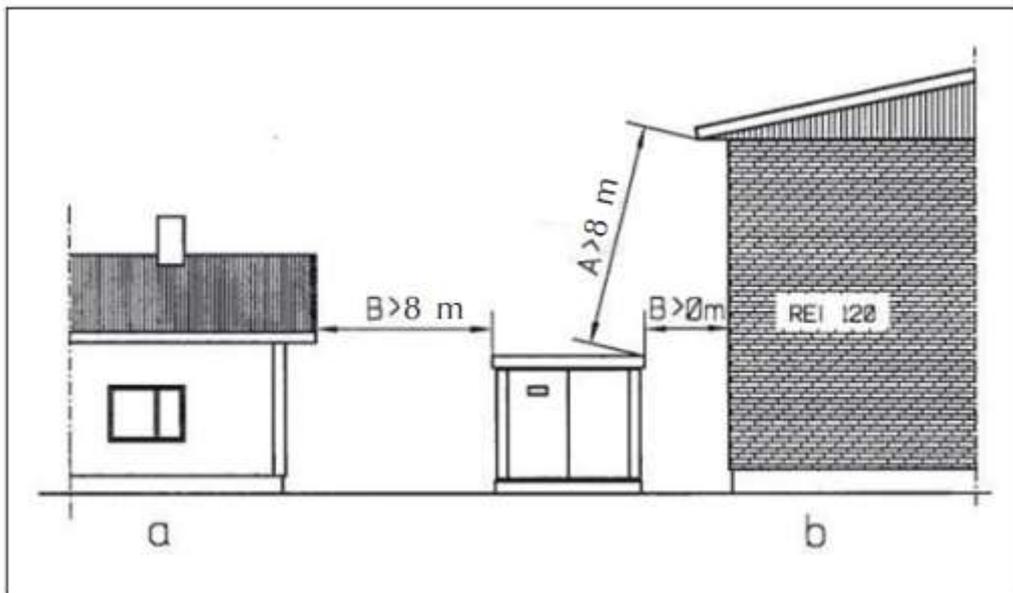
Etuna erillisissä muuntamoissa rakennuksiin sijoitukseen nähden on niiden helppo huollettavuus, paloturvallisuuden parantuminen muuntajan sijaitessa rakennuksen ulkopuolella sekä melu- ja magneettisten häiriöiden poistuminen rakennuksesta.

5.3 Muuntamon sijoitus

Rakennuksen sisään sijoitettu muuntamo tulisi sijoittaa paikkaan, josta muuntajan kuljetus, ilmanvaihto ja kaapelireitit ovat helposti järjestettävissä samoin kuin käyttöhenkilöidenkin kulku (4, s. 2). Muuntamo sijoitellessa on myös huomioitava muuntamon tilantarve, muuntamon aiheuttama melu ja häiritsevät magneettikentät. Usein paras muuntamotila on löydettävissä maan tasolta ulkoseinän viereltä (1, s. 47.)

Kiinteistöstä irrallaan olevista erillisistä muuntamoista on standardissa SFS 6001 "Suurjänniteasennukset" annettu vähimmäisetäisyyksistä ohjeita. Muuntamon vähimmäisetäisyys rakennuksesta tai varastosta on yleensä oltava 8 metriä. Ellei etäisyyksiä voida noudattaa, on käytettävä palonkestäviä ja erottavia seiniä standardissa annetuilla mitoilla. (1, s. 49.)

Kuvassa 4 on esitetty erillisen muuntamon sijoittelun pääsäännöt. Jos uhanalainen rakennus tai varasto on arvokas tai henkilöturvallisuuden katsotaan vaarantuvan, on syytä harkita huomattavasti suurempaa etäisyyttä yhdessä paloviranomaisen kanssa. Tällaisia arvokkaita rakennuksia ovat esimerkiksi kirkot, museot ja vastaavat rakennukset. Varastolla tarkoitetaan selvästi rajattua ulkovarastoa, jossa säilytetään helposti palavaa materiaalia. Henkilöturvallisuuden katsotaan vaarantuvan suurten henkilömäärien kokoontumistiloissa tai rakennuksissa, joita on vaikea nopeasti tyhjentää tai joissa voi syntyä paniikkia. Näitä ovat esimerkiksi koulut, hoitolaitokset ja päiväkodit. (4, s. 7.)



KUVA 3. Erillisen muuntamon vähimmäisetäisyydet muista rakennuksista; palonkestävyydeltään heikosta rakennuksesta ja palonkestävyyden omaavasta rakennuksesta (4, s. 7).

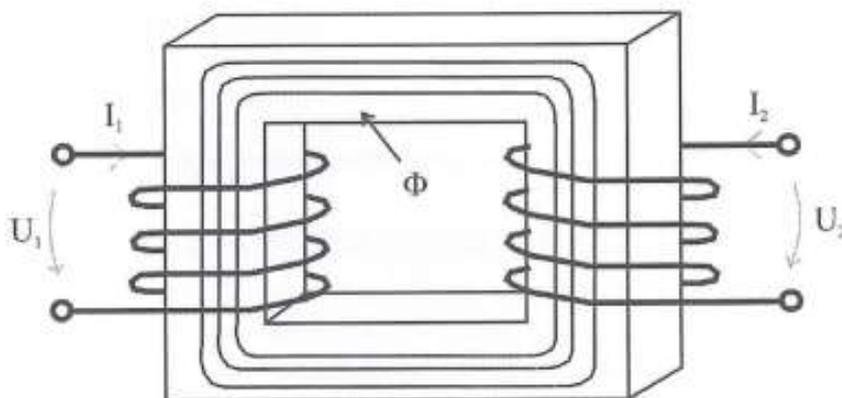
Jos erillisiin muuntamoihin sijoitetaan useita muuntajia, on huolehdittava, ettei yli 200 l nestemäärältään olevan muuntajan palo sytytä toista muuntajaa (4, s. 7).

6 MUUNTAJA

Muuntaja on sähkölaite, joka vaihtosähköjärjestelmässä muuntaa ja usein myös säätää jännitteitä ja virtoja kahden tai useamman käämityksen välillä käyttäen hyväksi sähkömagneettista induktiota. Kolmivaiheinen muuntaja rakennetaan joko suoraan kolmivaiheyksiköksi tai se voidaan koota kolmesta yksivaiheyksiköstä. (3, s. 141.)

Muuntajia käytetään moniin eri käyttötarkoituksiin mm. mittalaitteissa, sähköisissä suodattimissa, jakelun muuntamisessa kolmivaiheisesta yksivaiheiseksi ja sähköverkkojen erottamiseksi toisistaan galvaanisesti (6, s. 5). Tässä työssä keskitytään jakelumuuntajiin, jotka ovat tärkeä osa jakeluverkkojen tehonsiirrossa, sillä muuntajan avulla voidaan nostaa jännitetaso siirtoverkossa häviöiden minimoimiseksi ja toisaalta laskea käyttöjännite kohteissa sähkökäyttäjälle turvallisiksi. Muuntaja on keskeisessä roolissa muuntamon sähköisessä suunnittelussa ja tehomitoitukseltaan tärkein osa riittävän sähkönsyötön varmistamiseksi.

Kuva 5 esittää yksivaiheista muuntajaa. Muuntajan toiminta perustuu kuvassa 5 vasemmalla olevan ensiökäämin synnyttämään magneettivuohon ja magneettivuon indusoimaan oikeanpuoleisen toisiokäämin jännitteeseen. Ensiökäämin synnyttämä magneettivuon suuruus on riippuvainen ensiökäämin kierrosten lukumäärästä ja virran suuruudesta. Toisaalta toisiokäämiin indusoituneen jännitteen suuruus riippuu toisiokäämin lävistävän magneettivuon suuruudesta ja käämityksen kierrosten lukumäärästä.



KUVA 4. Yksivaiheinen häviötön muuntaja (6, s. 12).

Häviöttömässä muuntajassa ensiö- ja toisiokäämityksen kierrosten ja jännitteen suuruudella on yhteys, joka voidaan esittää muuntosuhteena kaavan 1 mukaan (6, s. 13):

$$\mu = \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad \text{KAAVA 1}$$

μ on muuntosuhde

E_1 on ensiökäämin jännite

E_2 on toisiökäämin jännite

N_1 on ensiökäämin kierrosten lukumäärä

N_2 on toisiökäämin kierrosten lukumäärä

Toisin sanottuna ensiö- ja toisiökäämin jännite riippuu käämityksen kierrosten lukumäärästä. Jos ensiökäämissä on suhteessa enemmän kierroksia kuin toisiökäämissä, on toisiökäämin jännite suhteessa pienempi kuin ensiökäämin jännite. Tällöin kyseessä on jännitettä alentava muuntaja. Jos käämitysten suhde on päinvastainen, on kyseessä jännitettä nostava muuntaja.

Sähköverkossa energiansiirrossa tapahtuva tehohäviö tapahtuu siirtoverkon johtimissa. Kolmivaiheisen järjestelmän siirtoverkon johdinhäviöt lasketaan johtimien resistiivisen ominaisuuden mukaan kaavalla 2 (6, s. 4):

$$P = 3 \cdot R \cdot I^2 \quad \text{KAAVA 2}$$

P on johdinhäviön tehollisarvo

R on johtimen resistanssi

I on johtimessa kulkeva virta

Kaavasta 2 nähdään, että tehohäviö perustuu johtimessa kulkevan virran suuruuteen. Energian siirron kolmivaiheinen teho voidaan laskea kaavalla 3 (6, s. 4):

$$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos\varphi \quad \text{KAAVA 3}$$

P on kolmivaiheinen tehollisarvo

U on pääjännite

I on vaihevirta

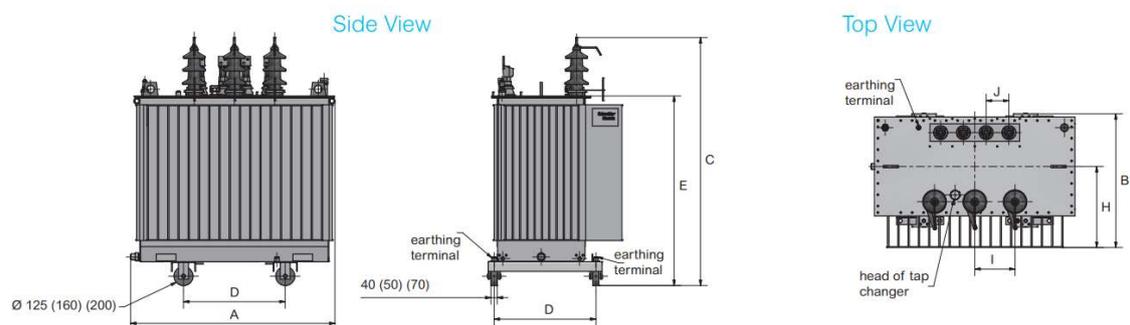
$\cos \varphi$ on tehokerroin

Edellisen mukaan nähdään, että siirtoverkon kannalta on edullisinta nostaa siirrettävään tehoon nähden jännite mahdollisimman korkeaksi johdinhäviöiden minimoimiseksi. Tähän toteamukseen perustuvat kaikki siirtoverkoissa käytetyt korkeat jännitteet, jotka alennetaan vasta lähellä käyttökohdetta. Toisaalta korkeat jännitteet aiheuttavat suuria rakennuskustannuksia, joten siirtoverkon jännitetaso porrastetaan siirrettävän välimatkan mukaan.

6.1 Muuntajan rakenne

Muuntajat luokitellaan käämitysten kanssa kosketuksissa olevan eristysaineen sekä sisäisen ja ulkoisen jäähdytystavan mukaan (7, s. 41). Muuntajassa syntyvät häviöt lämmittävät sen rautasydäntä ja käämityksiä. Syntyvä lämpö on johdettava ilmaan. Suurissa muuntajissa on käytettävä tehokkaampia jäähdytysmenetelmiä kuin pienissä, sillä muuntajan häviöt ovat verrannollisia muuntajan geometrinen pituusmittojen kuutioon jäähdytyspinnan ollessa verrannollinen vain mittojen neliöön. Jäähdytysaineena käytetään joko ilmaa tai öljyä. Jäähdytysaineen mukaan muuntajaa nimitetään joko öljy- tai kuivamuuntajaksi. (2.)

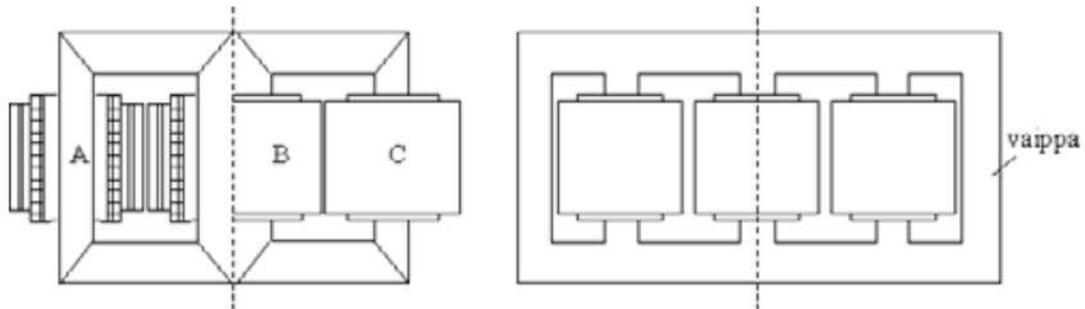
Öljyeristeiset muuntajat jaotellaan edelleen paisuntasäiliöllisiin muuntajiin ja hermeettisesti suljettuihin muuntajiin. Kuvan 6 hermeettiset muuntajat ovat kaasutiiviitä, jolloin muuntajan sisällä oleva öljyeriste ei ole kosketuksissa ilman kanssa, kuten paisuntasäiliöllisissä muuntajissa. 16–2000 kVA tehoalueen jakelumuuntajat ovat tyypillisesti hermeettisesti suljettuja öljymuuntajia, mutta teollisuudessa voidaan usein käyttää muuntajissa paisuntasäiliötä. Teollisuudessa muuntajien koko voi kuitenkin olla suurempi kuin tavanomaisilla jakelumuuntajilla. (1, s. 54.)



KUVA 5. Hermeettisesti suljettu Minera Eco jakelumuuntaja (8).

Muuntajat voidaan jakaa myös rautasydämen rakenteen mukaan sydän- ja vaippamuuntajiin. Kuvassa 7 on esitetty molemmat rakenteet. Sydänmuuntajassa on jokaisella vaiheella oma pyl-

väänsä, jolla on vaiheeseen kuuluvat kaksi käämistä. Vaippamuuntajassa yhden vaiheen magneettivuolla on toisista vaiheista riippumaton paluutie. Suurin osa kolmivaihemuuntajista on sydänmuuntajia, sillä sen rakenne on yksinkertaisempi ja jäähdytys on edullisempi toteuttaa kuin vaippamuuntajan (2).

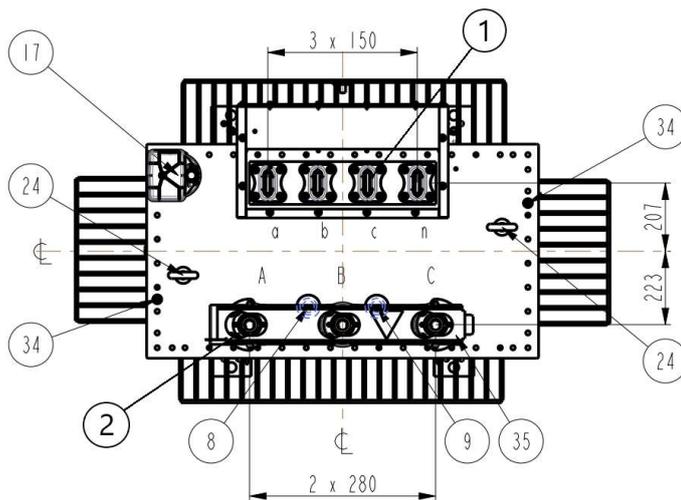


KUVA 6. Vasemmalla kolmivaiheinen sydänmuuntaja ja oikealla kolmivaiheinen vaippamuuntaja (9, s. 673).

6.2 Muuntajien kansirakenne

Muuntajan kannessa sijaitsevat ylä- ja alajänniteläpiviennit. Kuvassa 8 on esitetty erään muuntajan rakenne ylhäältä päin katsottuna. Kansirakenteen osat ovat numeroituina:

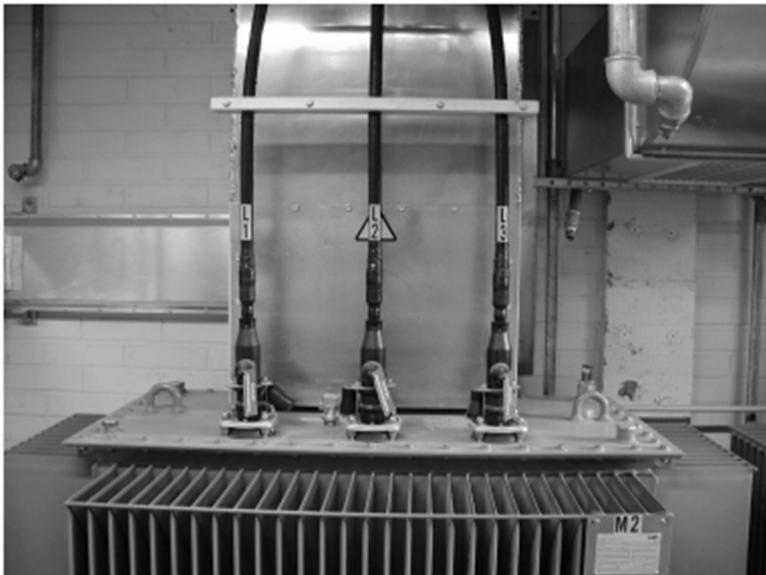
1. Alajänniteläpivienti (sekä tähtipisteläpivienti), 2. Yläjänniteläpivienti, 8. Jännitteen vaihtokytkin, 9. Väliottokytkin, 17. Muuntajan suojariele, 24. Nostosilmukka, 34. Maadoitusliitin, 35. Lukitusjärjestelmä.



KUVA 7. Muuntajan kansirakenne ylhäältä päin katsottuna (10, kuva muokattu).

Pienjännitepuolen läpiviennin liittimien pinta-ala on huomattavasti keskijännitepuolen liittimiä suurempi, sillä pienjännitepuolella siirrettävän virran määrä suhteessa siirrettävään tehoon on huo-

mattavasti keskijännitepuolta suurempi. Alajännitteen eristimet ovat posliinia. Yläjännitteelle on nykyisin yleisesti pistokeläpiviennit, joihin keskijännitekaapeli liitetään kosketussuojaisilla pistokepääteillä. Tätä rakennetta käytettäessä päästään helposti koko muuntamon kosketussuojaukseen. Yläjännitteelle toimitetaan edelleen myös posliiniläpivientejä. (1, s.54.) Kuvassa 9 on eräs esimerkki kosketussuojatusta rakenteesta. Edustalla olevat keskijännitekaapelit on vaihemerkitty ja kosketussuojaus on myös todettu merkinnällä. Takana olevat pienjännitejohtimet on koteloitu kokonaisuudessaan.



KUVA 8. Kosketussuojattu muuntajan kansi (11, s. 7).

Sähköverkossa tapahtuvien jännitevaihteluiden pienentämiseksi muuntajan jännitettä on pystyttävä säätämään (2). Muuntajissa on yleisesti käytetty väliottokytkintä, jolla jännitettä voidaan säätää $\pm 2 \times 2,5 \%$. Vanhoissa muuntajissa porrastus on ollut $\pm 5 \%$. Useat verkonhaltijat ovat luopuneet väliottokytkimistä, koska niitä ei ole käytetty. Väliottokytkin on kuitenkin usein vakiovarusteena muuntajissa. (4, s. 9.) Väliottokytkimellä voidaan säätää muuntajan muuntosuhdetta vain muuntajan ollessa jännitteetön. Väliottokytkintä ohjataan ohjaimella muuntajan kannelta. Se on siirrettävä täydellisesti asennosta toiseen, eikä sitä saa koskaan jättää kahden asennon väliin.

Käämikytkimellä voidaan muuttaa muuntajan muuntosuhdetta muuntajan ollessa jännitteellinen ja kuormitettu. Käämikytkin soveltuu jatkuvaan jännitteensäätöön, jolloin se jännitemittaukseen yhdistettynä säätölaitteena pitää sähköverkon jännitteen vakiona halutussa arvossa (9, s. 673). Siksi käämikytkintä käytetään tavallisesti moottoriohjauksella ja väliottokytkintä ohjataan käsin staattiseen arvoon käyttöönoton tai huollon yhteydessä.

6.3 Muuntajien kytkennät

Kolmivaihemuuntajan käämit voidaan kytkeä joko tähteen, kolmioon tai hakatähtikytkentään. Tähti- ja kolmiokytkentää käytetään ylä- ja alajännitekäämityksessä, mutta hakatähtikytkentää käytetään vain alajännitekäämityksessä. Hakatähtikytkentä vastaa sähköjohdon kannalta täysin tähtikytkentää, mutta etuna on hakatähtikytkennän sallima epäsymmetrinen vinokuormitus vääristämättä jännitteitä epäsymmetriseksi. (2.) Haittana hakatähtikytkennässä on, että se vaatii johdinmateriaalia n. 15,5 % enemmän ja sen sisäiset kytkennät ovat monimutkaisempia ja näkyvät suoraan muuntajan hinnassa. Hakatähtikytkentää käytetään pienillä jännitteillä ja pienillä tehoilla.

Kolmivaiheisten muuntajien kytkennät ilmoitetaan kirjainsymboleilla ja tunnusluvuilla. Iso kirjain, joka merkitään ensimmäisenä, tarkoittaa suurimman jännitteen käämistä ja vastaavasti pieni kirjain pienemmän jännitteen käämistä. Jos tähti- tai hakatähtikäämistä tähtipiste on tuotu liittimelle, merkitään tämä kirjaimilla N ja n välittömästi kyseessä olevan käämistä kirjainsymbolin jälkeen. Jos käämistä on säästökytkentä, merkitään tämä kirjaimella a käämistä kirjainsymbolin jälkeen. Jos käämistä on kytkettävissä kahdelle tai useammalle jännitteelle, kirjoitetaan suurimman jännitteen kirjainsymboli ensin ja sen jälkeen muut kirjainsymbolit sulkeisiin. Kytkennästä aiheutuvaa vaihesiirtoa kuvaamaan käytetään tunnuslukuina kellotaulun tuntilukemia. Tunnusluku on se kellolukema, jolle alajännitteiden vaihejännitevektorit asettuvat, kun samannimisen ylijännitevaiheen vaihejännitevektori asetetaan näyttämään 12:ta ”kellotaululta”. (6, s. 24.)

Taulukossa 1 on esitetty yleisimpiä standardoituja muuntajan kytkentöjä. Kytkennässä esitetään kirjainmerkeillä kytkentätyyppi aikaisemman kirjainsymbolin ja tunnuslukujärjestelmän perusteella ja näytetään periaatteelliset jännitevektorit osoitinkuvassa. Kolmiossa jännitevektori on vaiheiden välillä siinä missä tähdessä jännite referoituu aina vaiheelta nolaa vasten. Kytkennöissä esitetään fyysistä kytkentää vaiheiden välillä.

TAULUKKO 1. Muuntajan yleisimpiä standardoituja kytkentöjä (6, s 25).

TUN- NUS- LUKU	KYT- KEN- TA	OSOITINKUVAT		KYTKENNÄT	
		YJ	AJ	YJ	AJ
0	Dd0				
	Yy0				
	Dz0				
5	Dy5				
	Yd5				
	Yz5				
6	Dd6				
	Yy6				
	Dz6				
11	Dy11				
	Yd11				
	Yz11				

Keski- ja suuritehoisissa jakelumuuntajissa käytetään normaalisti Dyn-kytkentää. Dyn-kytkennässä hyviä puolia on kytkentöjen ominaisuudet ensiö- ja toisiopuolella. Ensiöpuolella kolmiokytkentä mahdollistaa keskijänniteverkon rakenteen siten, että tehon siirtoon tarvitaan käytännössä vain vaihejohtimet, sillä erillistä nollapistettä ei ole. Kolmiokytkennässä ei voida käyttää samasta syystä johtuen kahta eri jännitetasoa, millä ei ole keskijänniteverkon kannalta merkitystä, mutta toisaalta etuna on, että johdon päävirran ja muuntajan käämivirran suhde on $\sqrt{3}:1$ ja että kytkentä vaimentaa kolmatta yliaaltoa. (12, s. 73.)

Toisiopuolella tähtikytkentä mahdollistaa käyttäjän kahden eri jännitteen käytön: pääjännitteen kahden vaiheen välillä ja vaihejännitteen vaiheen ja nollan välillä. Suhde jännitteiden välillä on tässä muuntajakytkennässä $\sqrt{3}:1$. Tähtikytkennässä on nollapiste, jota voidaan käyttäjän puolella käyttää PEN-johtimen yhdistyspisteenä. Dyn-kytkentä mahdollistaa myös toisiopuolen epäsymmetrisen kuormituksen, sillä epäsymmetrinen kuormitusvirta aiheuttaa lisävirran vain ensiöpuolen

vastaavaan vaihekäämiin, joten magnetomotoriset voimat pitävät toisensa tasapainossa, eikä jännite-epäsymmetria ole mahdollinen. (12, s. 71.)

6.4 Öljyeristeiset muuntajat

Öljyeriste lämmitessään aiheuttaa tilavuusmuutoksia, mitä voidaan ehkäistä erillisellä paisuntasäiliöllä. Paisuntasäiliö vastaa öljyn minimi- ja maksimilämpötiloja vastaavien tilavuuksien erotuksesta ja huolehtii siitä, että varsinainen muuntajasäiliö on aina täynnä öljyä (6, s. 31). Kuvan 10 mukaisen muuntajan paisuntasäiliö aiheuttaa kuitenkin ongelmia öljyn laadun kanssa, sillä paisuntasäiliössä nesteen tilavuuden vaihtelu aiheuttaa ilman siirtymistä kosketuksiin öljyeristeen kanssa. Ilman kosteus kondensoituu öljyn sekaan ja aiheuttaa öljyn eristysominaisuuksien huonontumista ja lyhentää öljyn käyttöikää. Öljyn vanhentumista voidaan ehkäistä ilmankuivaimella, jossa paisuntasäiliön sisäänhengitysvaiheessa ilma kulkee kuivausaineen läpi, joka sitoo itseensä ilmassa olevan kosteuden (6, s. 31).



KUVA 9. Schneider-Electric Minera Paisuntasäiliöllä varustettu öljymuuntaja (8).

Öljyn laadun huonontumista pyritään myös estämään rakentamalla öljymuuntaja hermeettisesti, kuten kuvan 11 muuntaja. Hermeettinen rakenne on kaasutiivis, jolloin öljyn kosketus ilman kanssa on mahdotonta pidentäen öljyn käyttöikää. Hermeettisessä rakenteessa öljyn lämpötilan tilavuusvaihtelu on mahdollista toteuttaa muuntajan rungon elastisien jäähdytsaaltojen avulla.



KUVA 10. Schneider-Electric Minera hermeettinen öljymuuntaja (8).

Itse muuntajan suojaukseen öljyeristeisissä muuntajissa käytetään erilaisia laitteita, joilla pyritään seuraamaan muuntajan tilaa ja estämään vikatilanteita sekä niiden seurauksia. Öljyn lämpötilan mittarilla seurataan muuntajassa olevan öljyn huippulämpötilaa. Lämpötilamittarissa on tavallisesti aseteltavat hälytys- ja laukaisukoskettimet. Paisuntasäiliöllisissä muuntajissa käytetään paisuntasäiliön öljynkorkeuden osoitinta öljymäärän seuraamiseen. Käämikytkimen suojareleellä suojataan käämikytkintä vaurioitumiselta ja suojareleessä oleva laukaisukosketin kytketään muuntajan pääkatkaisijoiden laukaisupiiriin. Kaasurele toimii öljyeristeisten tehomuuntajien suojana silloin, jos muuntajassa esiintyy sisäisiä vikoja. Kaasureleen toiminta perustuu muuntajassa tapahtuvaan kaasunkehitykseen tai suureen vian aiheuttamaan öljyökyyn. Vikatilanteessa syntyneet kaasut kerääntyvät kaasureleeseen ja aiheuttavat hälytyksen hälytyskoskettimen välityksellä ja/tai laukaisun pois verkosta laukaisukoskettimen välityksellä. Laukaisukosketin kytketään aina pääkatkaisijoiden laukaisupiiriin. Ylipaineventtiilillä estetään paineen nousu liian suureksi muuntajan säiliössä, jos muuntaja vaurioituu vakavasti. Myös ylipaineventtiili voidaan varustaa laukaisukoskettimilla. (6, s. 31.)

6.5 Kuivamuuntaja

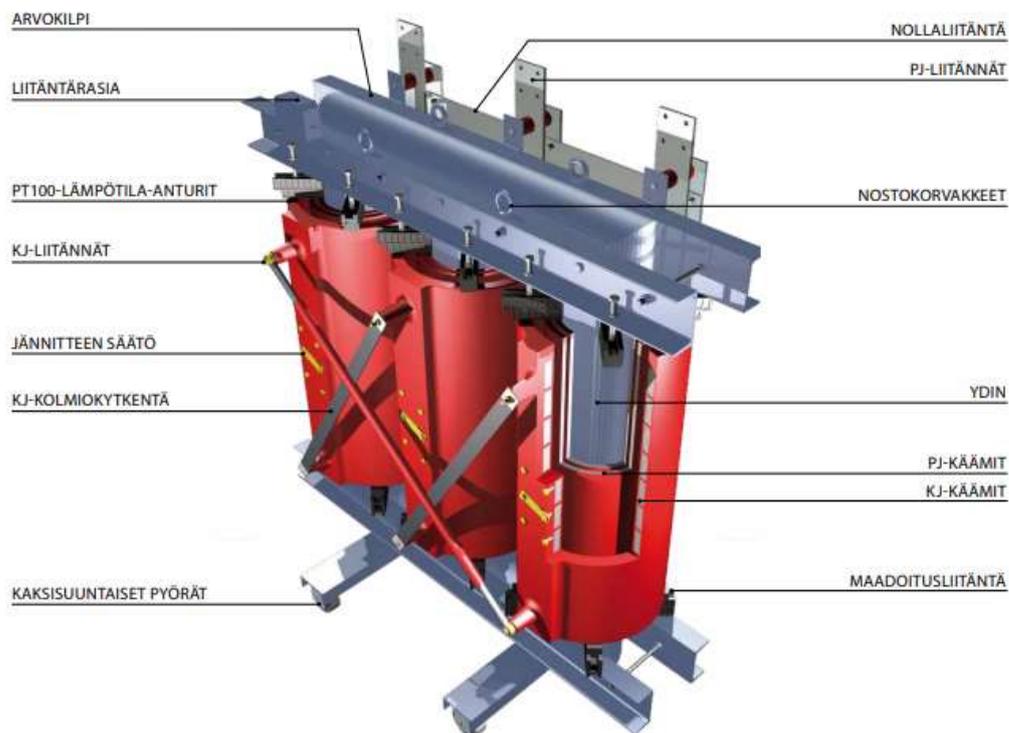
Kuivamuuntajan voi toteuttaa usealla eri rakenteella, esim. valuhartsieristeisenä tai ilmaeristeisenä kuivamuuntajana (1, s. 54). Kuvassa 12 on esimerkki koteloimattomasta kuivamuuntajasta, mutta kuivamuuntajia saadaan myös koteloituina. Koteloimalla koko muuntaja voidaan toteuttaa kosketussuojaus, mutta se voi aiheuttaa ilmanvaihdon heikentymistä ja samalla pienentää kuivamuuntajan kuormitettavuutta.

Kuivamuuntajien valmistus on öljymuuntajia monimutkaisempaa, mikä näkyy suoraan kuivamuuntajien kalliimmassa hinnassa. Niiden käyttö voi kuitenkin olla perusteltavissa niiden huomattavasti pienemmän palokuormansa takia tai tiloihin, jossa öljyvuoto voi aiheuttaa ongelmia esimerkiksi pohjavesialueilla. Kuivamuuntajien palokuorma voi olla luokan F0, F1 tai F2 mukainen ja luokan F1 sekä F2 kuivamuuntajat eivät syty niissä mahdollisesti tapahtuvista oikosulkuvalokaarista. (4, 5.2.)



KUVA 11. Schneider-Electric Trihal, koteloimaton kuivamuuntaja (8).

Kytkenä kuivamuuntajissa poikkeaa hieman öljyristeisiin muuntajiin nähden, sillä rakenteellisesti kytkennät eivät sijaitse muuntajan kannella. Kuvassa 13 on esitetty kuivamuuntajan rakenne, josta huomataan KJ-liitäntöjen sijaitsevan muuntajakäämiä vasten. Magneettikenttää johtava rautasydän on ulkoisesti nähtävissä ja rakenteelliset suojalaitteet, kuten lämpötila-anturit, ovat päältä päin nähtävissä. Peruseräiteeltään kuivamuuntaja ei poikkea öljymuuntajasta eristerakennetta ja sen suojalaitteita lukuun ottamatta ja jos öljymuuntajaa katsottaisiin ilman kuorirakennetta, olisi muuntajien välinen vastaavanlaisuus nähtävissä.



KUVA 12. Kuivamuuntajan rakenne (13, s. 3).

6.6 20 kV ja 10 kV muuntajat

Jos hankitaan muuntajia 10 kV keskijänniteverkkoon, kannattaa tiedustella verkonhaltijalta, aiotaanko käyttöjännitettä nostaa. Esimerkiksi Helsingissä, Turussa ja Lahdessa hankitaan kaikki 10 kV verkkoon liitettävät muuntajat kahdelle jännitteelle. Tällöin on luovuttu väliottokytkimestä ja sen tilalle asennetaan jo muuntajan valmistusvaiheessa jännitteen vaihtokytkin, jolla yläjännitteeksi voidaan valita joko 10 kV tai 20 kV. (4, s. 9).

6.7 Muuntajan valinta

Tyypillisesti muuntajaa valittaessa erikoismuuntajia lukuun ottamatta on vaihtoehtoina joko öljy- tai kuivamuuntaja. Siksi on hyvä ymmärtää näiden kahden muuntajavaihtoehdon edut ja haitat.

Öljymuuntajat lisäävät muuntamotilan palokuormaa huomattavasti kuivamuuntajaa enemmän. Eristävä öljy on itsessään palavaa materiaa ja öljymuuntajien palokuorma on suoraan verrannollinen öljymuuntajan sisältämään öljymäärään. Vesisammutuksen käytössä on kuitenkin kuivamuuntajassa enemmän rajoituksia kuin öljyeristeisellä muuntajalla (4, s. 8).

Kuivamuuntajien luotettavuus on osoittautunut huonommaksi kuin öljymuuntajilla. Kuivamuuntajilla on kuitenkin valmistajasta ja etenkin rakenteesta johtuvia selviä luotettavuuseroja. (14, s. 54.)

Kuivamuuntajilla ylikuormitettavuus on pienempi kuin öljyeristeisillä muuntajilla. Ylikuormittaminen edellyttää usein lisäpuhaltimia tms. laitteita. Kuivamuuntajan jäähdytykseen on kiinnitettävä erityistä huomiota. Jos kuivamuuntajan kosketussuojaus toteutetaan koteloimalla koko muuntaja, on jäähdytyksen heikentyminen otettava huomioon muuntamotilaa suunniteltaessa. Joillekin kuivamuuntajille on asetettu pienempiä käyttölämpötila-arvoja kuin öljymuuntajille. (4, s. 8.) Tavanomaiset kuivamuuntajat eivät yleensä kestä alle -20 °C lämpötiloja, mutta kuitenkin on saatavilla jopa -40 °C kestäviä kuivamuuntajia (14, s. 55). Melutaso on yleensä korkeampi kuin öljymuuntajilla (4, s.8).

Kuivamuuntaja on samassa teholuokassa kooltaan huomattavasti öljymuuntajia suurempi. Tämä voi aiheuttaa muuntamotilassa tai haalausreittejä suunniteltaessa rajoituksia tai vaatimuksia tilan rakenteisiin.

Kuivamuuntajien saatavuus voi olla heikko ja tuhoutuneen muuntajan tilalle saattaa olla vaikea löytää nopeasti uutta kuivamuuntajaa. Jos kuivamuuntaja tai muu erikoismuuntaja valitaan, pitää varamuuntajan saanti selvittää. (1, s. 55.)

Kuivamuuntajan hankintahinta on 1,3–2 kertaa vastaavan kokoisen öljyeristeen muuntajan hintaa korkeampi. Suurempien muuntajakokojen kohdalla suhteellinen hintaero tasoittuu. (1, s. 55.)

Jos öljymuuntajan valinnalle tai sijoitukselle ei ole esteitä, on hankintahinnan ja käyttöteknisten syiden takia valinta yleensä öljymuuntaja. On kuitenkin käyttökohteita, joissa kuivamuuntajan käyttöä on syytä harkita. Näitä ovat esimerkiksi suuri pistekuorma tehdastilassa, tunnelit, kaivokset, vedenpuhdistuslaitokset, väestösuojat, pohjavesialueet ja sairaalat. (1, s. 55.)

6.8 Muuntajan mitoitus ja kuormitettavuus

Muuntajan mitoitus perustuu kiinteistön tehontarpeeseen. Liittymätehon mitoitukseen ottaa kantaa esimerkiksi ST-kortti 13.31 Rakennuksen sähköverkon ja pienjänniteliittymän mitoittaminen. Arvion perusteella päädytään huipputehotarpeeseen, jonka mukaan liittymäkoko aletaan määrittelemään. Muuntajateho valitaan tarvittavan huipputehon mukaan ottaen huomioon myös muuntajan tyhjäkäynti ja tehohäviöt. Tyhjäkäyntihäviö on ns. rautahäviö, joka syntyy muuntajan rautasydämessä syntyvien vuotovirtojen takia. Tehohäviöt ovat muuntajan virtalämpö- ja kuormitushäviöitä, jotka syntyvät muuntajan käämeissä. Tehohäviöt ovat suhteessa tehoon, jota muuntajasta otetaan, mutta tyhjäkäyntihäviöt ovat jatkuvia häviöitä, jotka ovat täysin riippumattomia siitä, kuormitetaanko muuntajaa.

Tehohäviöiden takia muuntajan antama teho on pienempi kuin muuntajan ottama teho. Hyötysuhde voidaan laskea kaavalla:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \qquad \text{KAAVA 4}$$

η on hyötysuhde

P_1 on muuntajan verkosta ottama teho

P_2 on muuntajan antama teho

Vaikka muuntajien tehohäviöt ovat suhteellisen pieniä ja hyötysuhteet hyviä, luokkaa $\eta \approx 0,97..0,99$, häviöiden taloudellinen arvo on silti merkittävä, eikä niitä saa jättää huomioon ottamatta, kun muuntajaa valitaan. (12, s. 36.)

Muuntajan kuormituksen kasvaessa muuntajan lämpötila nousee ja eristeiden vanheneminen nopeutuu. Vanhenemisnopeus kaksinkertaistuu ja vastaavasti elinikä lyhenee puoleen käämin kuumimman pisteen lämpötilan noustessa 6–8 °C, kun liikutaan lämpötila-alueella 40–140 °C. (1, s. 59.)

Vanheneminen asettaa rajat muuntajan kuormitettavuudelle. Julkaisun IEC 354 mukaan ilmajäähdytetyn öljyeristeisen muuntajan normaalina käyttönä pidetään jatkuvaa käyttöä nimellisteholla +20 °C ympäristön lämpötilassa. Eristeet vanhenevat tässä käyttötilanteessa nopeudella, jota voidaan pitää normaalina. (1, s.59.) Taulukossa 3 on esitetty muuntajan jatkuvaa kuormitettavuutta verrattuna ympäristön lämpötilaan.

TAULUKKO 2. Muuntajan jatkuva kuormitettavuus eri ympäristön lämpötiloissa (1, s. 59).

Ympäristön lämpötila / °C	-20	-10	± 0	+10	+20	+30	+40
Sallittu jatkuva kuorma %	130	123	116	108	100	91	82
Öljyn lämpötila / °C	67	69	71	73	75	78	80

6.9 Muuntajien rinnankytkentä

Muuntajia voidaan myös kytkeä rinnan. Tämä voi tulla kysymykseen, jos tarvittava yhden muuntajan teho ylittää 1600 kVA tai kohteessa tarvitaan käyttövarmuutta sähkösyötössä. Yhden muuntajan vikaantuessa voidaan useampaa muuntajaa käytettäessä silti syöttää kiinteistön sähköverkkoa jäljellä olevalla toimivalla muuntajalla, jolloin koko kiinteistö ei jää sähköttä. Muuntajien rinnankytkennässä on kuitenkin huomioitava oikosulkuteho, joka aiheuttaa vaatimuksia pääkeskuksen oikosulkukestävyydelle. Usean muuntajan tapauksessa suurilla tehoilla oikosulkuvirtojen suuruus voi olla hyvin suuri, mikä on huomioitava kojevalinnassa.

Yleiset rinnankäyntiehdot ovat:

- muuntajien nimellistehojen on oltava samaa suuruusluokkaa, tehojen suhde korkeintaan 3:1
- muuntajien oikosulkuiimpedanssien on oltava suunnilleen yhtä suuret, erotus korkeintaan n. 10 %
- muuntajien nimellisjännitteiden on oltava yhtä suuret, toleranssi muuntosuhteissa korkeintaan 0,5 %
- rinnan kytkettäessä on toisiojännitteiden oltava keskenään samansuuntaiset.

(6, s. 27.)

Viimeinen ehto on täytetty, jos muuntajien kytkennöillä on sama tunnusluku ja muuntajien samannimiset liittimet yhdistetään keskenään sekä ensi- että toisiopuolella. Jos tunnusluvut poikkeavat toisistaan 120° tai 240°, saadaan toisiojännitteet samansuuntaisiksi kytkemällä toisessa muuntajassa toisiliitin b tai c toisen muuntajan a-liittimeen ja muut liittimet syklisesti siirtyen vastaavasti b- ja c-liittimiin. (6, s. 25.)

Rinnankytkettyjen muuntajien teho ei kuitenkaan vastaa suoraan tehojen summaa. Jos n kappaletta muuntajia on kytketty rinnan, muuntajien yhdessä siirtämä teho on (3, s. 151):

$$S = u_{k,min} \sum_i^n \frac{S_{Ri}}{u_{ki}} \quad \text{KAAVA 5}$$

S on siirrettävien tehojen summa

$u_{k,min}$ on suhteellinen oikosulkujännite siinä muuntajassa, jossa se on pienin

S_{Ri} on muuntajan i mitoitus-teho

u_{ki} on muuntajan i suhteellinen oikosulkujännite

Tällä varmistetaan, ettei mikään muuntajista ylikuormittuisi. Jännitehäviö saa olla korkeintaan sama kuin nimellisvirralla syntyvä oikosulkujännite siinä muuntajassa, jossa se on pienin. Jos esimerkiksi on kolme saman tehoista muuntajaa, joiden oikosulkuiimpedanssit ovat $0,9u_k$, u_k ja $1,1u_k$, muuntajien yhteinen suurin kuormitettavuus rinnankytkennässä, ettei mikään muuntajista ylikuormittuisi, on siten:

$$0,9 \cdot S_R \cdot (1/0,9 + 1 + 1/1,1) = 0,9 \cdot S_R \cdot 3,0202 = 2,718 \cdot S_R \quad \text{KAAVA 6 (3, s. 151)}$$

Jos oletetaan väärin muuntajien tehojen olevan suoraan summautuvasti $3 \cdot S_R$, on tehojen suhteellinen ero:

$$2,718 \cdot S_R / 3 \cdot S_R = 0,906$$

KAAVA 7

Toisin sanottuna tehon siirron ero on:

$$1 - 0,906 = 0,094$$

KAAVA 8

eli tehon siirto on 9,4 % pienempi kuin muuntajien mitoitus-tehojen summan perusteella saatava kuormitettavuus.

7 KOJEISTO

Nykyisin avorakenteisia sisäkojeistoja ei kannata enää rakentaa, vaan niiden tilalle ovat tulleet ilma- ja SF₆-eristeiset koteloidut kojeistot ja kytkinlaitokset (3, s. 120). Suomessa voimassa olevien säädösten mukaan pelkästään esteillä suojatut uudet sisälaitteistot eivät ole sallittuja (7, s. 52).

Kojeiston on oltava tarkoituksen mukainen, selväpiirteinen ja rakenteeltaan sellainen, että olenaisiin osiin pääsee helposti käsiksi, kun kojeistoa pystytetään, käytetään ja kunnossapidetään. Rakenteen on oltava sellainen, että kojeisto voidaan panna kokoon käyttöpaikalla. Mahdolliset tulevaisuudessa tehtävät laajennukset tulee ottaa huomioon. (7, s. 52.)

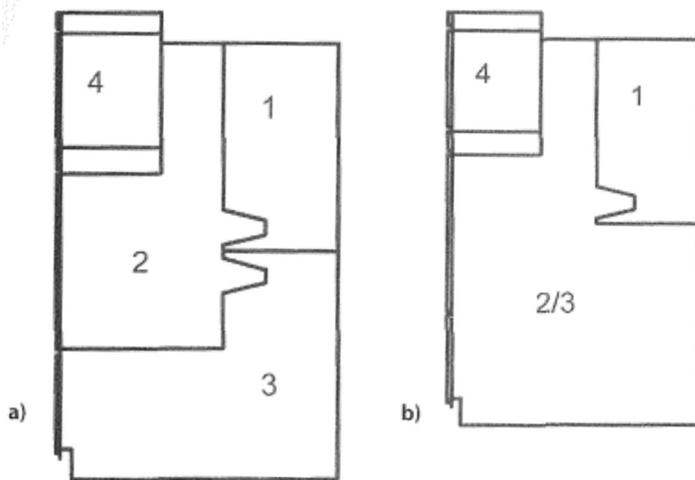
Ulkoiset liitännät on järjesteltävä asianmukaisesti. Johtimet ja kaapelit on valittava ja ryhmiteltävä siten, että riittävä eristystaso varmasti saavutetaan sekä johtimien välillä että jokaisen johtimen ja ympäröivän metallirakenteen välillä. (7, s. 52.)

Kojeiston paineenpurkauslaitteet on suunniteltava ja asennettava siten, että henkilöstön turvallisuus ei vaarannu niiden toimiessa vikatapauksessa. Kaasujen hajoamistuotepitoisuuksien kasvamisen vaarallisen suureksi on ehkäistävä. (7, s. 52.)

7.1 Kojeiston rakenne

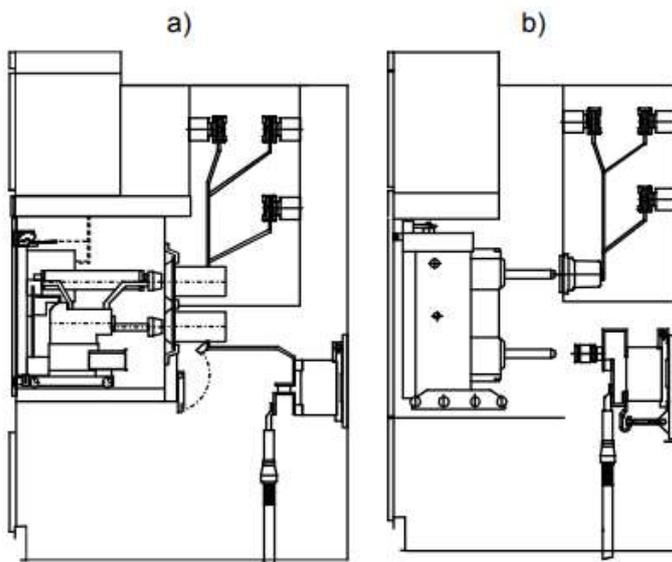
Kojeistot jaetaan ulkokuoren materiaalin perusteella metallikuorisiin ja eristysainekuorisiin kojeistoihin, joista edelliset ovat eniten käytössä. Metallikuoriset kojeistot jaetaan kojeiston sisäisen osastoinnin ja sen toteutuksen perusteella edelleen kolmeen alalajiin: metallikoteloidut kojeistot, tilakoteloidut kojeistot ja kennokoteloidut kojeistot. Metallikoteloidussa kojeistossa tilojen välinen osastointi on toteutettu maadoitetulla metallilla, kun taas tilakoteloidussa kojeistossa tilojen välinen osastointi on osittain tai kokonaan eristysainetta. Kojeistot, jotka eivät ole metalli- tai tilakoteloitua rakennetta, kuuluvat kennokoteloituihin kojeistoihin. (3, s. 121.)

Kuvassa 14 on esitetty rakenteellinen eroavaisuus metalli- ja tilakoteloidun sekä kennokoteloidun kojeiston välillä. Kennokoteloidussa kojeistossa on kennojen väliseinät, muttei kennon sisäisiä väliseiniä. Henkilöturvallisuuden kannalta kennokoteloitu ratkaisu on huonompi kuin metallikoteloitu kojeisto (3, s. 122). Kuvassa 15 on esimerkkejä eri katkaisijakennoista.



KUVA 13. a) Metall- tai tilakoteloitu kojeisto b) kennokoteloitu kojeisto (3, s. 121).

Kuvan 14 osasto 1 on kojeiston takaosassa sijaitseva kokoojatila. Kokoojakiskot muodostavat kentittäin oman kaasutilansa ja yhteisen yksikön kiskoerottimien ja maadoituserottimien kanssa (15, s. 7). Osasto 2 on katkaisijatila, jonka kojeet voivat olla ulosvedettävää tai kiinteää mallia. Osasto 3 on lähtötila, jossa keskijännitekaapeli voidaan kytkeä joko ala- tai takakautta. Kennokoteloitussa kojeistossa katkaisijakojeet ja lähtötilan liitäntälaitteet ovat samassa tilassa. Osasto 4 on toisiokojetila.



KUVA 14. a) Metallikoteloitu katkaisijakenno b) kennokoteloitu katkaisijakenno.

Kalustustavan perusteella kojeistot voidaan jakaa ulosvedettävillä kojeilla varustettuihin kojeistoihin eli vaunukojeistoihin ja kiinteällä kalustustavalla varustettuihin kojeistoihin (3, s. 122). Ulosvedettävässä kalustustavassa lähtöyksikön kojeet asennetaan ulosvedettävään kasettiin. Yksikkö

voidaan vaihtaa tai yksiköitä voidaan lisätä normaalina käyttötoimenpiteenä keskuksen ollessa jännitteinen. Kaikkien piirien johtimet kytkeytyvät lähtöyksikköön pistokoskettimilla. Käyttökoestus- ja erotustoiminnot toteutetaan kannessa olevalla ohjausmekanismilla lähtöyksikköä liikkuttamatta. Yksikön ollessa poistettuna on tila kosketussuojainen muihin tiloihin nähden. Kiinteässä kalustustavassa lähtöyksikön kojeet asennetaan kiinteästi. Yksikön vaihtaminen voidaan suorittaa vain keskuksen ollessa jännitteetön. Riviliittimet ja ohjauspiirin kojeet ovat helposti luokse päästävissä. Syötön navat on kosketussuojattu ja varustettu aukoilla liitosten termokuvaimiseksi. Rakenne täyttää osittain kosketussuojauksen vaatimukset ja kaikki käyttötoimenpiteet voidaan suorittaa kojeytilan ulkopuolelta. (15, s. 43.)

Kojeistot jaetaan myös kojeiston sisäisen eristysaineen mukaan. Mikäli kojeiston pääasiallisena eristysaineena toimii normaali ilma, käytetään kojeistosta nimitystä ilmaeristeinen kojeisto. Käytettäessä eristysaineena eristyskaasua, joka on eri paineessa kuin normaali ilmanpaine, puhutaan kaasueristeisestä kojeistosta. (15, s. 21.)

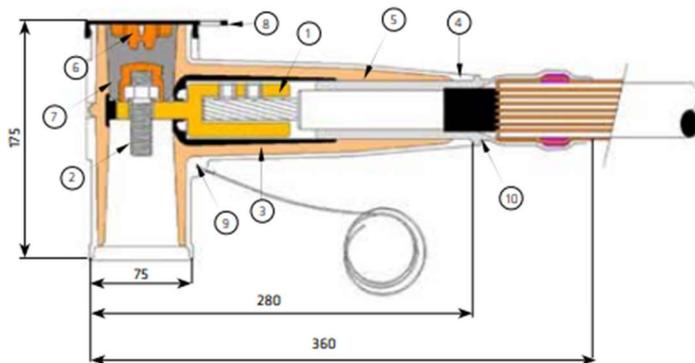
Tyypillisesti nykyään käytetään kaasueristeisiä metallikoteloituja kojeistoja, jotka tunnetaan myös nimellä GIS-kojeistot. Kaasueristeinä käytetyin on SF₆-kaasueriste, mutta myös muita kaasueristeisiä kojeistoja on saatavilla, kuten typpieristeiset kojeistot. Tyhjiökojeistoja on myös saatavilla.

SF₆-kaasueriste, eli rikkiheksafluoridi, on erinomainen eristekaasu, jonka jännitelujuus on n. 2,5 kertaa parempi kuin ilmalla. SF₆-kaasulla on myös varsin hyvät valokaaren sammutusominaisuudet ja se on siksi laajalti käytetty sekä eristekaasuna että katkaisuväliaineena. (3, s. 50.)

SF₆-kaasu on myrkytöntä, väritöntä, hajutonta ja palamatonta. Se on kuitenkin erittäin haitallinen kasvihuonekaasu ja sen vuoksi sen käyttöä kontrolloidaan tarkasti. Valokaaren tapahtuessa SF₆-kaasu kuitenkin voi hajota myrkyllisiin ja korrodoiviin kiinteisiin tai kaasumaisiin yhdistelmiin, jos yhdisteet pääsevät kosketuksiin kosteuden kanssa. Ilmaa raskaampana SF₆-kaasu syrjäyttää hapen, mikä aiheuttaa tukehtumisvaaran, ellei tuuletusta ole järjestetty. (3, s. 52.)

SF₆-eristeisen keskijännitekojeiston tunnusomaisia etuja ovat vähäinen tilantarve, korkea käyttövarmuus, varma kosketussuoja, alhainen huollon tarve, pitkä käyttöikä ja kevyt rakenne (15, s. 5). Kojeytilan pituudessa keskijännite-GIS säästää n. 30–70 %. Niin sanotut muuntamokojeytilat vaativat tilaa SF₆-eristeisiä ratkaisuja käytettäessä pituussuunnassa noin kolmasosan ja korkeussuunnassa puolet vähemmän verrattuna normaaliin ilmaeristeiseen laitokseen. (3, s. 126.)

Keskijännitekojeistoihin voidaan liittyä normaalilla kaapelipäätteellä ja paljaalla kiskolla. Kojeisto varustetaan tällöin eristystä ja kosketussuojaisuutta lisäävällä liityntäkappaleella. Myös ”pistoke-ratkaisu” käytetään, ja suurivirtaiset liitynnät toteutetaan eristetyllä kiskolla tai SF₆-putkella. Yleensä kojeistoon liitytään joko kojeiston alta kaapelitilasta tai kojeiston takaa. Muuntamokojeis-tossa sovelletaan pistoketyyppisiä kaapeliliityntöjä, joilla saadaan muuntamon kosketussuojaus toteutettua. (3, s. 140.) Kuvassa 16 on esitetty erään valmistajan kosketussuojattu kylmäkutiste-kulmapistokepäätte, joka soveltuu kaapeleiden liittämiseen keskijännitekojeistoihin.



KUVA 15. Muuntajakojeistoon sopiva pistokemallinen päätte (16).

Kuvan 16 osat ovat: 1. Momenttiruuviholkki 2. M16-kiinnityspultti 3. Puolijohtava EPDM-kerros johdinliitoksen päällä 5. Eristävä EPDM-kerros 6. Kapasitiivinen mittauspiste jännitteettömyyden todentamista varten 7. Eristetulppa 8. Puolijohtava EPDM-suojahattu 9. Kosketussuojatun pistokepäätteen rungon maadoituspiste 10. Kentänohjausadapteri, joka mahdollistaa vaipaneheysmit-tauksen.

7.2 Muuntamoiden pääkaavioiden esimerkkejä

Muuntamon yleiskaavio määräytyy seuraavasti:

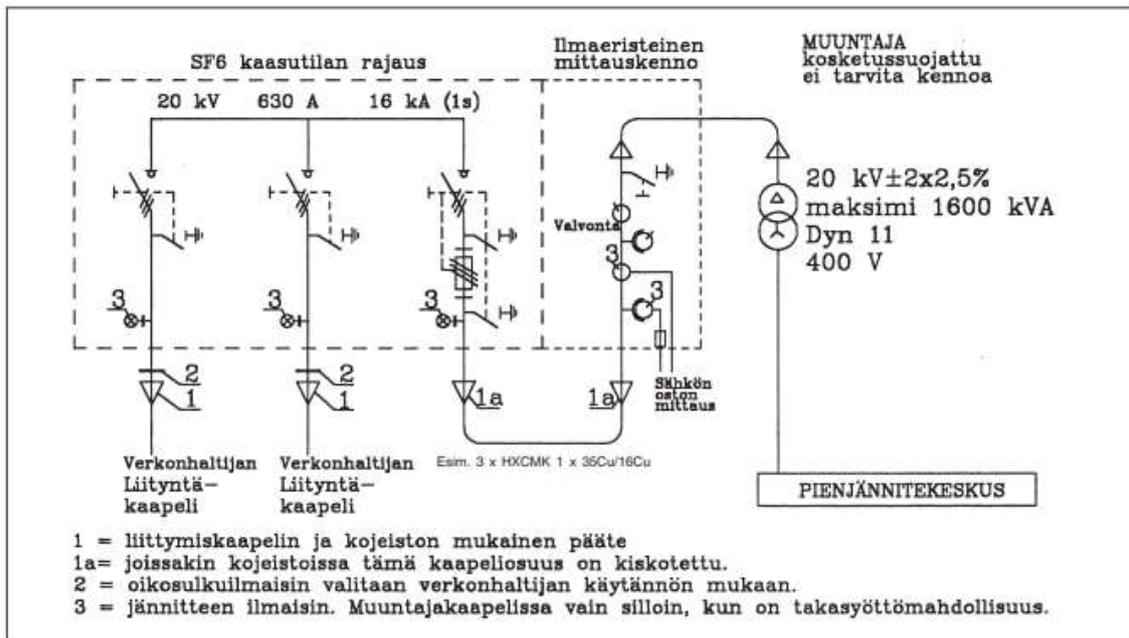
- Omistajan mukaan. Verkonhaltijan muuntamossa ei yleensä ole sähköenergian mittaus-ta, mutta sähkönostajan muuntamossa on aina sähköenergian mittaus keskijännitteellä.
 - Keskijänniteverkon rakenteen mukaan. Kaikki muuntamot pyritään liittämään verkonhalti-jan keskijänniteverkkoon kahdella kaapelilla. Näin sähköön syöttö voi tapahtua kahdelta suunnalta. Suomessa on keskijännitteellä yleistynyt rakentamistapa, jossa 20kV verkko rakennetaan renkaiksi käytön ollessa kuitenkin säteittäistä jakorajojen avulla (15, s. 1).
 - Keskijänniteverkon ominaisuuksien mukaan (jännite, oikosulkuvirta ja maasulkusuojaus).
- (3, s. 45.)

Kuvassa 17 on esimerkki yhden muuntajan muuntamosta. Kuvassa keskijännitekojeisto on SF₆-eristeinen RMU-muuntamokojeisto, niin sanottu kompaktikojeisto, jossa on liityntäkennojen kuormanerotimien lisäksi yksi varokeuormanerotin muuntajaa varten. RMU-kojeistojen perusrakenteita on kaksi:

- järjestelmät, joissa on yhteisen kuoren sisältämä yhteinen kaasutila, jonka sisällä on ennalta määrätty määrä kaapelilähtöjä
- vieri viereen asennetut itsenäiset kennot, joiden lukumäärää voidaan myöhemmin lisätä.

(3, s. 138.)

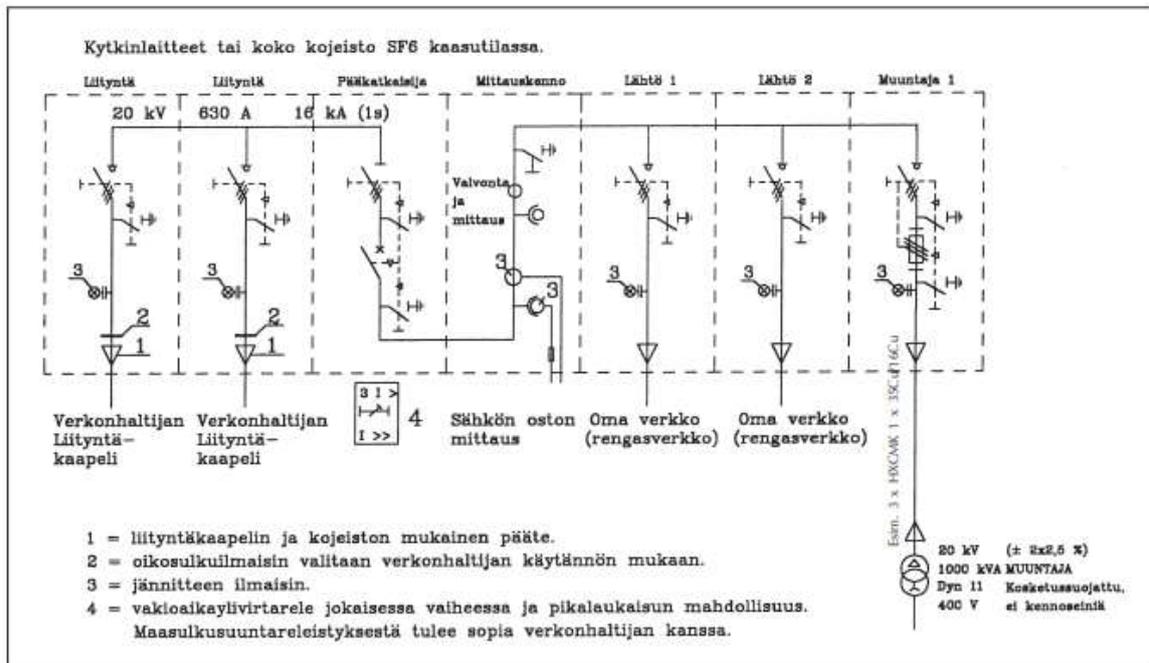
Kuvan 17 kojeistossa keskijännitekojeet ovat yhteisessä kaasutilassa. Kuvan 17 kojeistolla voidaan käyttää maksimissaan yhtä 1600 kVA:n muuntajaa. Jos muuntajia on kaksi tai muuntajatehoa kasvatetaan yli 1600 kVA:iin, tulee pääkytkimenä käyttää katkaisijaa, jossa voi olla virtamuuntajia virtalähteenä käyttävät suojarieleet.



KUVA 16. Yhden muuntajan muuntamo (4, s. 10).

Kuvan 18 suurempiin muuntamoihin soveltuu paremmin kennokohtaisesti koottavat kojeistot, joissa kojeet ovat omassa kaasutilassaan. Näihin kojeistoihin saa monipuolisia kennoelementtejä, kuten kuormanerotin-, katkaisija- mittaus- ja varokeuormanerotinkennoja. Myös pienemmissä muuntamoissa voidaan käyttää kuvan 18 mukaista kennokohtaisesti laajennettavaa rakennetta

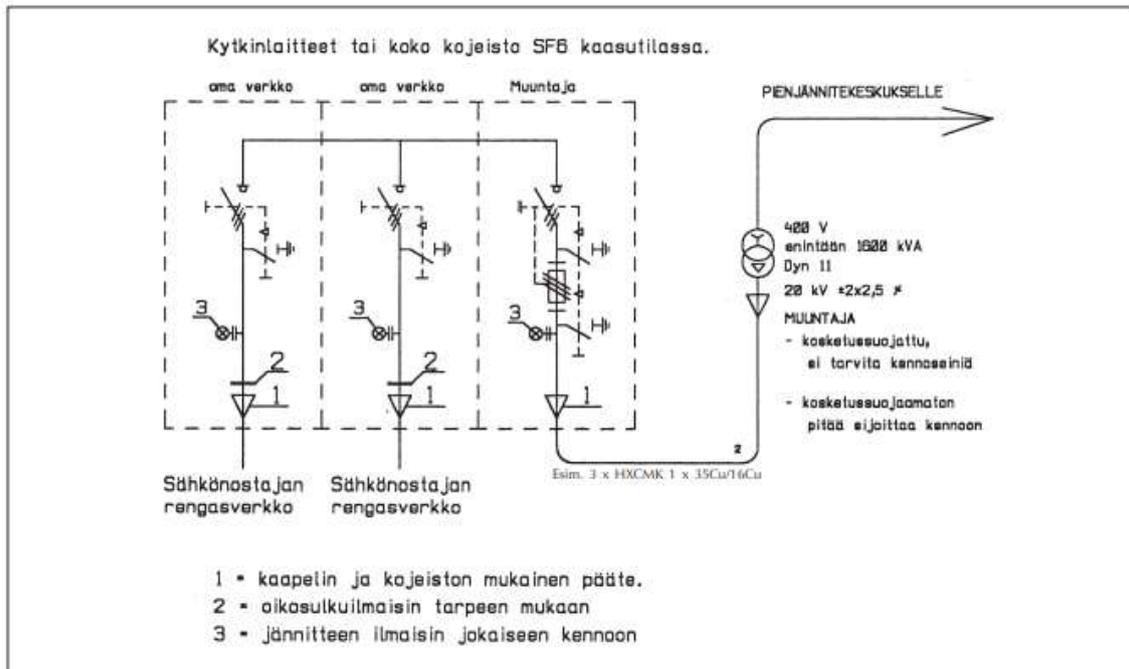
etenkin silloin, kun on vähäistäkin tietoa siitä, että muuntajien lukumäärää tai oma keskijänniteverkko kasvaa tulevaisuudessa. (4, s. 10.)



KUVA 17. Muuntamoon liittyy sähkökäyttäjän sisäistä suurjänniteverkkoa ja useita muuntamoita ja muuntajia (4, s. 11).

Kennokohtaisesti kootussa kojeistossa tapahtunut mahdollinen oikosulku tuhoaa todennäköisesti vain yhden kennon, mutta vioittunut kuvan 17 kompakti kojeisto on vaurion jälkeen vaihdettava kokonaan (4, s. 10).

Kuvassa 19 on esitetty sähkökäyttäjän oman rengasverkon muuntamon pääkaavio. Se on esitetty koottavaksi kennokohtaisesti, jolloin laajennus on helppoa ja välttämättä ei heti tarvitse ostaa rengasverkon toista kennoa. Jollei keskijännitteellä ole rengasverkkoa, pitää varasyöttö hoitaa pienjännitteellä tai ajatella valmiiksi, miten toimitaan, jos keskijännitekaapeli vioittuu. Keskijännitekaapeliverkko tulisi rakentaa rengasverkoksi aina, kun se on mahdollista. (4, s. 11.)



KUVA 18. Sähkökäyttäjän oman rengasverkon muuntamo (4, s. 11).

7.2.1 Liittymiskenno

Kaapelin liittymiskennona käytetään kaapelipäätekennoa erottimella. Kojiston erotointoiminto toteutetaan joko erillisillä erottimilla, kuormanerottimilla tai vaunuratkaisuna. Vaunuratkaisussa erotusväli aikaansaadaan siirtämällä vaunuun sijoitettua kytkinlaitetta siirtolaitteen avulla erotus-asennosta käyttöasentoon ja päinvastoin. Erottimen asennon on oltava todettavissa. Vaatimus voidaan täyttää, kun erotusväli on näkyvissä, vaunun asento on nähtävissä tai erottimen asento on ilmaistu luotettavalla asennonosoituksella. (15, s. 22.)

Koska muuntamot yleensä liitetään verkonhaltijan keskijänniterengasverkkoon, on liittymiskaapeleita kaksi. Kuormituksen tai verkostotekniikan takia liityntäkaapeleita voi olla useampiakin. Kaapelipäätekennoissa kaapelille varataan

- kuormanerotin ja maadoituskytkin, jolla liityntäkaapeli voidaan maadoittaa.
- kaapelipääte, jonka koko määräytyy kaapelin mukaan
- jännitteen ilmaisimain jokaiseen vaiheeseen
- tila mahdollisia verkonhaltijan oikosulkuilmaisimia varten tai oikosulkuilmaisimet, jotka ovat kojeistossa.

(4, s. 12.)

Liittymiskennoille on erikseen tarkistettava vaatimukset verkonhaltijalta, sillä esimerkiksi Hellen Sähköverkko Oy vaatii erottimet varustettaviksi moottoriohjaimilla ja erottimien tilatieto on oltava saatavissa kosketintietona kaukovalvontaan.

7.2.2 Pääkytkin

Yhden muuntajan muuntamossa voidaan käyttää pääkytkimenä muuntajan oikosulkusuojana toimivaa varokekuormanerotinta tai katkaisijaa. Esimerkiksi Hellen Sähköverkolla suurin sallittu sulake on 63A 20kV liittynässä ja 125A 10kV liittynässä. Kuormanerotin tulee avautua, jos yksi tai useampi sulake palaa.

Katkaisijan releet ovat yleensä vakioaikaylivirtareleitä, jotka edellyttävät useimmiten apuvirtalähteen, kuten akkujen tai UPS:n, asentamista. Virtamuuntajat asennetaan kaikkiin vaiheisiin. Myös aseteltavan pikalaukaisun tulee olla vakiona. (4, s. 12.) Vakioaikaylivirtareleen toiminta perustuu ylivirtareleen asetteluarvoon ja aikareleen asettelu-aikaan. Vakioaikaylivirtarele laukeaa, kun virta ylittää asetteluarvon tietyn asetteluajan verran.

Kun muuntaja halutaan suojata ylikuormitukselta, voidaan se varustaa kosketinlämpömittarilla ja kuormanerotin laukaisulaitteella. Ylikuormitussuojaus voidaan hoitaa myös pienjännitekeskuksen katkaisijan ja releiden avulla. (4, s. 13.)

Pääkytkimen valinta ja mitoitus on tarkistettava sähköverkon haltijan laatimista vaatimuksista ja ohjeista. Esimerkkejä ohjeellisista sulakearvoista on kuitenkin esitetty taulukossa 3.

TAULUKKO 3. Ohjeellinen muuntajaa suojaavan sulakkeen valinta (4, s. 13).

Muunta- ja kVA	200	315	500	800	1000	1250	1600
Jännite 10 kV	25	40	63	63	100	100	100
Jännite 20 kV	16	25	25	40	63	63	63

7.2.3 Mittauskenno

Verkonhaltijan ohjeet on huomioitava mittamuuntajien hankinnassa, asennuksessa sekä mittauksen kytkentäkaaviossa. Verkonhaltija määrittelee mittamuuntajien tarkkuusluokat, joiden tulee vastata hankittavia laitteita. Taulukossa 4 on esitetty mittamuuntajien tarkkuusluokat.

TAULUKKO 4. Mittamuuntajien tarkkuusluokat (4, s. 13).

Tehoraja	Virtamuuntaja	Jännitemuuntaja	Jännitteenalenema
alle 2 MW	0,2 S	0,2	≤ 0,2 %
2–10 MW	0,2 S	0,2	≤ 0,1 %
yli 10 MW	0,2 S	0,2	≤ 0,05 %

Mittamuuntajien sijoittelusta ja järjestyksestä on määrittelyt verkonhaltijan ohjeissa. Esimerkiksi Helen Sähköverkoilla jännite- ja mittamuuntajien järjestyksen tulee olla seuraava:

- pääkatkaisija tai varokeuormanerotin
- liittäjän suojausvirtamuuntajat kaikissa kolmessa vaiheessa (voivat sijaita myös pääkatkaisijakennossa)
- jännitemuuntajat 3 kpl
- virtamuuntajat 3 kpl
- liittäjän muut jännite- sekä virtamuuntajat.

(17, s. 3.)

7.2.4 Muuntajakkenno

Jos kojeistossa on useampi keskijännitelähtö tai muuntaja, käytetään lisänä yleensä muuntajakkennoa, kuten kuvissa 18 ja 19. Muuntajakennossa käytetään varokeuormanerotinta, jolla ohjataan kaapelilähtöä. Kaikki kuormanerotimilla tai varokeuormanerotimilla varustettujen kennojen tulee olla varustettuna maadoituserottimella. Erottimet on lukittu siten, että erottimia ei voida kytkeä kiinni maadoitustilanteessa.

Kuten liityntäkennoissa, muuntajakennossa kaapelilähdössä käytetään jänniteindikointia jokaiselle kolmelle vaiheelle.

8 PÄÄKESKUS

Muuntamon pääkeskuksena toimiva pienjännitekeskus on yleisesti 5-johdinjärjestelmän keskuksia, joissa on keskuksen vaiheiden ja N-, sekä PE-kiskot. Pienjännitekeskuksen tulee täyttää standardin SFS-EN 61439 vaatimukset. Kotelokeskuksia valmistetaan normaalisti aina nimellisvirraltaan 630 A asti, mutta nimellisvirrassaan suuremmat keskuksset ovat käytännössä aina kenokeskuksia.

Pääkeskuksen pääkytkin on mitoitettava siten, että se kestävä muuntajan sallitun ylikuorman. Sen tulee olla kuormakytkin ja sillä tulee voida avata ja sulkea myös ylikuormassa oleva muuntaja. Pääkytkimenä voidaan käyttää myös katkaisijaa, joka releiden avulla voi toimia muuntajan ja keskuksen ylikuormitusuojana. (4, s. 14.)

Pääkeskuksen nimellisvirta-arvot perustuvat sitä syöttävän muuntajan tehoon ja verkon oikosulkuarvoihin. Muuntamon tapauksissa oikosulkuvirran arvot voivat olla tavanomaisia pienjännitellisiä huomattavasti suurempia muuntajan sijaitessa hyvin lähellä pääkeskusta. Lähtökohtaisesti pääkeskuksen mitoitukselle on annettu ohje SFS 640-käsikirjassa standardin SFS-EN 61439-1 soveltamisessa taulukon 5 mukaiset mitoitusravot muuntajan nimellistehon S_N ja oikosulkuimpedanssin Z_k perusteella.

TAULUKKO 5. Keskuksen mitoitusravot syöttävän muuntajan perusteella (18, s. 62).

S_n [kVA]	I_{nA} [A]			Z_k	I_{cw} 0.3 s [kA]		
	400 V	500 V	690 V		400 V	500 V	690 V
100	140	110	80	3,8	4	3	2
200	280	220	160	4	7	6	4
315	440	350	260	4,5	10	8	6
500	700	550	410	5	14	11	8
800	1130	880	650	5,5	21	16	12
1000	1410	1100	810	5,5	26	20	15
1250	1760	1380	1020	5,5	32	25	19
1600	2250	1760	1300	5,5	41	32	24
2000	2820	2200	1630	6	47	37	27
2500	3520	2750	2030	6	59	46	34
3150	4440	3460	2560	7	63	50	37
4000			3250	7			47

Taulukko perustuu keskuksen mitoitusvirtaa vastaavan erään muuntajarakenteen oikosulkuvirtaan, kun muuntajan toisiojännite on 400V. Oikosulkuvirran suuruus riippuu muuntajan häviöistä ja toisiojännitteestä. (18, s. 62.)

Tehomuuntajien oikosulkuimpedanssit ovat muuntajastandardien mukaisesti standardoitu määräarvoihin $\pm 10\%$ sallituin vaihtelurajoin eritehoisille muuntajille. Muuntajan oikosulkuimpedanssi mitataan tehtaalla ja merkitään arvokilpeen prosentteina muuntajan nimellisimpedanssista:

$$z_k = 100 \cdot \frac{Z_k}{Z_n} \% \quad \text{KAAVA 9}$$

Z_n on nimellisimpedanssi

Z_k on oikosulkuimpedanssi

z_k on suhteellinen oikosulkuimpedanssi

(12, s. 45.)

Muuntajan oikosulkuimpedanssi voidaan laskea myös kilpeen leimatuista arvoista vastaavasti kaavalla:

$$Z_k = \frac{u_k}{100} \cdot \frac{(U_n)^2}{S_n} \quad \text{KAAVA 10}$$

u_k on muuntajan oikosulkujännite prosentteina

U_n on muuntajan nimellispääjännite

S_n on muuntajan nimellinäennäisteho

Muuntajan oikosulkuimpedanssi on osa verkon oikosulkuarvojen laskentaa, jolla määritellään kojeiston oikosulkukestoisuudet. Oikosulkulaskelmat tehdään pääsääntöisesti laskentatyökaluja käyttäen. Ne perustuvat Thevenin menetelmään ja ominaisoikosulkuteholaskentaan.

Jos keskus on varustettu useammalla kuin yhdellä syöttöpiirillä esimerkiksi useamman muuntajan tapauksessa, on kokoojakiskoston oikosulunkestävyyden oltava riittävä kaikkien syöttöpiirien kautta vaikuttavien oikosulkuvirtojen summalle. Nolla- ja suojakiskojen oikosulunkestävyyden on oltava vähintään 60 % vastaavien vaihekiskojen kolmivaiheisen oikosulkuvirran arvosta. (18, s. 62.)

On huomioitavaa, ettei keskuksen oikosulunkestoisuus vastaa tai varmista keskuksen kestävyttä valokaarioikosuluissa. Valokaarioikosulun aiheuttama vika vaikuttaa keskuksen rakenteelliseen

kestävyyteen, jossa valokaaren aiheuttama paine ja purkautumisreitti on otettava huomioon. Valokaaren syntymisen riskejä voidaan vähentää ja sen vaikutuksia pienentää seuraavilla toimenpiteillä:

- hyvin lyhyt poiskytkentäaika (alle 0,1 s), joka voidaan saavuttaa esim. pikalaukaisulla varustetulla katkaisijalla tai paineeseen, valoon tai lämpöön reagoivilla antureilla eli valokaarireleillä
- virran rajoitus käyttämällä varokkeita tai virtaa rajoittavia katkaisimia.
- erottimen ja siihen kuuluvan katkaisijan välinen lukitus, jotta erotinta ei voida avata virralisena.

(18, s. 71.)

Näistä tärkein on hyvin lyhyen poiskytkentäajan käyttö, sillä muuntajilla syötetyissä pääkeskuksissa on suuri oikosulkuvirta. Lyhyt poiskytkentäaika rajoittaa valokaaren suoraa lämpövaikutusta ja muita haitallisia vaikutuksia, kuten metalleista ja eristeaineista erittyvien kaasujen vaikutuksia tai sulan metallin roiskumista. Lyhyellä poiskytkentäajalla voidaan rajoittaa myös oikosulkuvauriosta johtuvia taloudellisia menetyksiä ja käyttökeskeytyksiä. (18, s. 71.)

Sähkötyöturvallisuusstandardi SFS6002 edellyttää, että keskuksissa, joiden mitoitusvirta on yli 1000A, on mahdollisuus tehdä työmaadoitus. Työmaadoitus on helpointa ja turvallisinta tehdä maadoituskytkimellä. (18, s. 70.)

Jos työmaadoitus toteutetaan maadoituskohtioilla, on suositeltavaa rakentaa maadoituskohtiot keskuksen pääkytkimen kummallekin puolelle. Muuntajan puoleisia kohtioita käytetään maadoittamiseen muuntajan vaihdon tai huollon aikana. Keskuksen puoleisiin kohtioihin voidaan liittää varavoimakone muuntajan vaurion tai huollon ajaksi. (4, s. 14.)

Sähkökeskuksille on varattava sellainen hoitotila, että keskuksessa suoritettavat asennukset, huolto- ja käyttötoimenpiteet voidaan suorittaa ilman vaaraa. Yli 63 A keskuksilla keskuksen eteen varataan vähintään 0,8 m leveä ja 2,0 m korkea hoitokäytävä. Hoitokäytävän on ulotuttava koko keskuksen eteen. Mikäli keskus asennetaan komeroon, keskus pitää asentaa siten, että kaikkien keskuksen suojalaitteiden ja muiden käsiteltävien komponenttien edessä on hoitokäytävän mittainen tila. (18, s. 71.)

Jos pääkeskus sijoitetaan muuntamotilaan, tulee keskuksen tilavaraus tarkistaa sen vaatiman koon mukaisesti. Pääkeskuksen koon ja nousujohtojen optimaalisen haaroituspisteen takia pää-

keskuksen sijoitus voi olla muuntamotilan ulkopuolella. Pääkeskus olisi kuitenkin hyvä sijaita muuntajan välittömässä läheisyydessä suurien liityntäkaapelikokojen käytännön asennuksen, kiskojen hinnan ja hajamagneettikenttien pienentämisen vuoksi esimerkiksi muuntajatilän seinän takana.

9 KAAPELOINTI

Muuntamon kaapelointi jakautuu kahteen osaan: ennen muuntajaa asennettavaan keskijänniteverkon kaapelointiin ja muuntajan jälkeiseen pienjänniteverkon kaapelointiin. Kojeistoon asennettavat keskijänniteverkon kaapelit voivat olla hyvinkin paksuja verrattuna kojeistosta muuntajalle asennettaviin kaapeleihin johtuen keskijänniteverkon rakenteesta. Koska keskijänniteverkko rakennetaan renkaaseen, kasvaa keskijänniteverkossa siirrettävä virtamääräkin samassa suhteessa renkaassa olevien kiinteistöjä syöttävien muuntajien mukaan.

Pienjänniteverkossa pääkeskusta syötetään muuntajalta joko kiskosilloilla tai kaapeleilla. Valinta kiskosillan ja kaapelin välillä on hyvä ottaa esille suunnittelutyön aikana, sillä esimerkiksi rakennuttajalla tai loppukäyttäjällä voi olla hyvinkin poikkeavia näkemyksiä siitä, kumpi ratkaisu on kohteessa käyttökelpoisempi. Vaikka kiskosillat ovat kuormituksen kannalta ylivertaisia kaapelointiin nähden, voi niiden käytännön asennus olla haastavaa kiskosiltojen mittojen toleranssien takia.

9.1 Keskijännitekaapelit

Verkonhaltijan keskijänniteverkkoon kytkettävät liittymiskaapelit ovat usein alumiinisia kuvan 20 tyyppin AHXAMK-W maakaapeleita. Verkonhaltija määrittelee kaapelityypin sekä kaapelimäärät. Käytettävän kaapelin tyypistä onkin siis oltava aina yhteydessä verkonhaltijaan. Esiintyvät kaapelipaksuudet verkonhaltijoiden verkoissa ovat esimerkiksi AHXAMK-W 240AL+70Cu ja AHXAMK-W 300AI+70Cu, mutta muitakin verkonhaltijan ohjeellisia kaapelipaksuuksia löytyy.



KUVA 19. Tyypin AHXAMK-W keskijännitekaapeli (19, s. 98).

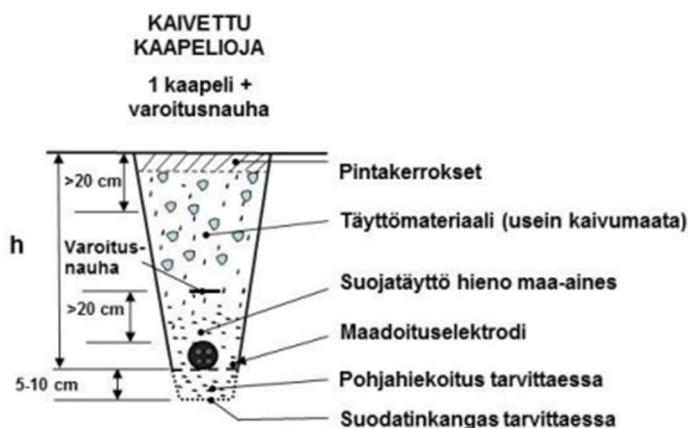
Kuvan 20 AHXAMK-W kaapelissa on kolme vaipattua vaihetta kerrattu keskusköyden ympärille. Kaapelin vaipatut vaiheet ovat PEX-muovieristeisiä ja keskusköysi on pyöreä tiivistetty kuparijohdin. AHXAMK-W kaapelit ovat vesitiiviitä. Veden haittavaikutuksia on torjuttu ulkovaipan alla olevalla alumiinilaminaatilla, joka estää veden pääsyn sisärakenteisiin. Jos kaapeli vaurioituisi tai katkeaisi jostain syystä, laminaatin alla oleva paisuva nauha ja vaihejohtimen sisällä oleva paisuva materiaali estävät veden etenemisen kaapelin pituussuunnassa. Alumiinilaminaatti toimii myös kaapelin kosketussuojana. (19, s. 5.)

Katkaisijan suojaaman suurjännitekaapelin mitoitus suoritetaan syöttävän keskijänniteverkon oikosulkuvirran, pääkatkaisijan laukaisuajan ja sen varasuojan (verkonhaltijan katkaisija) sekä kuormituksen mukaan ottaen huomioon kaapelin asennusolosuhteet. (4, s. 10.)

Kaapelireittiä suunnitellessa on hyvä varautua keskijännitekaapelin taivutussäteisiin. Esimerkiksi AHXAMK 240Al+70Cu kaapelilla on määritelty seuraavat taivutussäteet: putkessa 2000 mm, ilmassa 800 mm ja asennettaessa vaiheita erillään 500 mm. (4, s. 12.)

Kaapelin taivutussäteet ovat kuitenkin kaapelista riippuvaisia ja taivutussäteissä tulisikin ensisijaisesti noudattaa valmistajan ohjeita.

Tontilla keskijännitekaapeleiden putkiasennus tehdään 0,5–1 m syvyyteen. Ohjeellinen syvyys verkonhaltijoilla on tyypillisesti 0,7 m. Putkiasennuksien välillä tulee olla 50 mm suojatäyttö. Kuvassa 21 on esimerkki kaivetusta maakaapeliasennuksesta. Tontilla kaapelireitin tulisi olla mahdollisimman lyhyt ja suora, mahdollisiin mutkakohtiin suositellaan kaapelikaivoa.



KUVA 20. Esimerkki maakaapeliasennuksesta kaivettuun kaapeliojaan (20, s. 9).

Kojeiston ja muuntajan välillä käytetään tyypillisesti kuvan 17 kolmea HXCMK 1x36Cu/16Cu kaapelia. Kaapeli on PEX-muovieristeinen ja siinä johdin on tiivistetty pyöreä kuparijohdin. Kaapelin kosketussuojana käytetään konsentrisesti kerrosta kuparilankoja ja kuparivastakierrettä. Maadoituskaavioiden mukaan kaikkien kaapelipäätteiden yhteydessä maadoitetaan kaapelin jokaisen osajohtimen konsentrisen vaippa. Erityisen tärkeää on maadoittaa kosketussuojaisten päätteiden yhteydessä kaapelin vaippa sen kummastakin päästä. Hajamagneettikenttien muodostumisen ehkäisemiseksi HXCMK kaapelit tulisi asentaa kolmioon aina, kun se on mahdollista. (4, s. 10.)

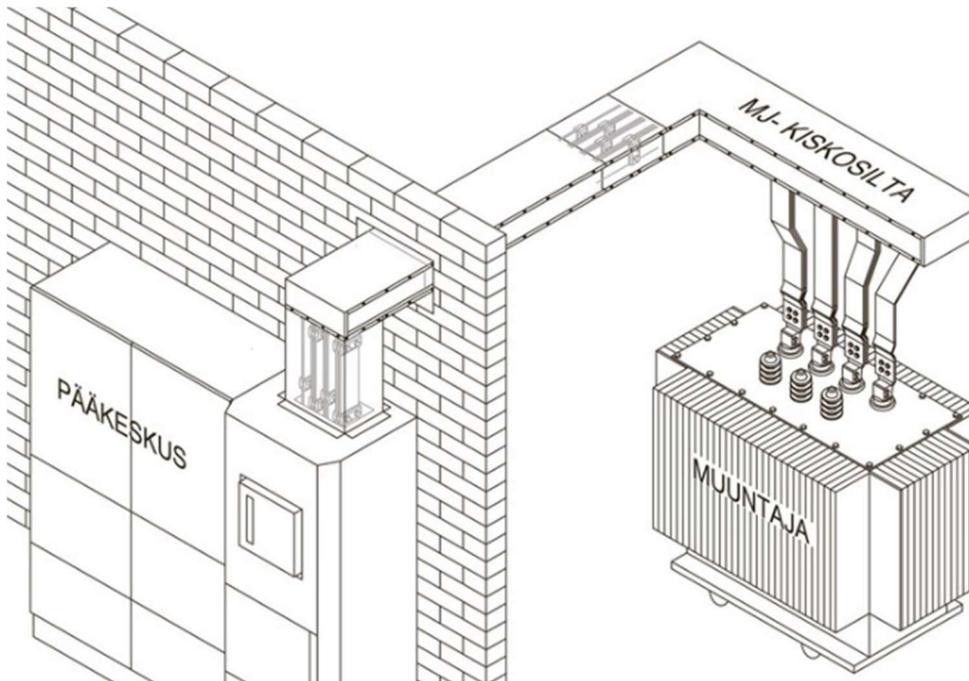


KUVA 21. HXCMK tyypin keskijännitekaapeli (19, s. 110).

Kaapelivalinnassa suositeltavaa on määritellä verkonhaltijan kanssa samat kaapelityypit. Näin toimiessa on mahdollista saada huoltoapua nopeasti vikatilanteiden sattuessa tai huollontarpeen ilmaantuessa, kun kaapeleita ei jouduta erikseen tilaamaan vaan voidaan käyttää suoraan yleisimpiä varastoituja kaapeleita. Erityisten kaapeleiden toimitusajat voivat tulla haasteellisiksi, kun vika pitäisi korjata mahdollisimman pikaisesti.

9.2 Kiskosillat

Muuntajan liitäntä pienjännitekeskukselle tapahtuu joko kiskosillalla tai suurvirtakaapeleilla. Kiskosillalla tarkoitetaan kiinteää muuntamokohtaisesti valmistettua nimensä mukaisesti metallisilla virtakiskoilla varustettua kokonaisuutta. Kuvassa 23 on esimerkki kytkennästä, jossa muuntaja on kiskosillalla kytketty pääkeskukseen kolmella vaihevirtakiskolla ja yhdellä PEN-virtakiskolla. Kiskosillan kuuluu oleellisten virtakiskojen lisäksi kotelointi, jolla täytetään kosketussuojauksen vaatimukset muuntajasijoittelun ulkopuolella ja joka samalla vähentää suurien virtojen aiheuttamaa magneettikenttää.



KUVA 22. Esimerkki kiskosillalla kytketystä muuntajasta (21, s. 18).

Muuntajan liityntä tehdään joustavilla kiskoliittimillä. Kiskoliittimiä voidaan laittaa esimerkiksi kaksi varmistamaan liitinkiskojen virrankestävyys, mutta tällöin on varmistettava hankittavien kiskoliittimien paksuus, jotta se mahtuu liitinkiskoparin väliin ilman taivuttamista. Liitinkiskot liitetään virtakiskoihin, joilla teho siirretään pääkeskukselle. Virtakiskot voivat olla kuparisia tai alumiinisia ja ne on koteloitu eristävillä tukirakenteilla. Liitinkiskot valmistetaan virtakiskojen mukaan.

Kiskosillan kulkiessa palo-osastolta toiseen palosulut tehdään sekä kiskosillan koteloinnin ulkopuolelle että sisäpuolelle. Keskuksen päässä virtakiskot liitetään pääkeskuksen syöttöön välikappaleilla. Magneettikenttien vähentämiseksi kotelointiin on yleensä mahdollista saada EMC-suojattuja kansia.

Taulukossa 6 on esitetty esimerkki kuparisen kiskosiltojen virtakiskon kuormitettavuuksista mittojen suhteen. Kuormitettavuudessa on otettava huomioon virtakiskon metallilaji, ympäristön lämpötila, tuuletus, sallittu kiskon lämpenemä, kiskon pinnan säteilykerroin, virtalaji ja kunkin vaiheen sijainti toisiinsa nähden, jotka voivat vaikuttaa kuormitettavuusarvoihin. Vaikutukset otetaan huomioon kuormitettavuudessa korjauskertoimilla, mutta kuormitettavuusominaisuudet voivat olla valmistajakohtaisia. Maalattut kiskot kestävät kuormitusta kirkkaita kiskoja paremmin johtuen maalattun pinnan paremmasta lämmönjohtavuudesta. Lämpökonvektio ilma-metalli-rajapinnalla on huonompi kuin ilma-maali- ja maali-metalli-yhdistelmillä. Tämä on yleisesti huomattu ja käytetty tapa parantamaan esimerkiksi keskuksien kokoojakiskojen kuormitusta.

TAULUKKO 6. Esimerkki erään valmistajan kuparisien virtakiskojen kuormitettavuuksista (15, s. 25).

Mitat mm	Poikkipinta mm ²	Nimellisvirta/A 50Hz					
		Maalatut kiskot			Kirkkaat kiskot		
		Kiskojen lukumäärä			Kiskojen lukumäärä		
		I	II	III	I	II	III
20x5	99	319	560	728	274	500	690
20x10	199	497	924	1320	427	825	1180
30x5	149	447	760	944	379	672	896
30x10	299	676	1200	1670	573	1060	1480
40x5	199	573	952	1140	482	836	1090
40x10	399	850	1470	2000	715	1290	1770
50x5	249	697	1140	1330	583	994	1260
50x10	499	1020	1720	2320	852	1510	2040
60x10	599	1180	1960	2610	985	1720	2300
80x10	799	1500	2410	3170	1240	2110	2790
100x10	999	1810	2850	3720	1490	2480	3260
120x10	1200	2110	3280	4270	1740	2860	3740
160x10	1600	2700	4130	5360	2220	3590	4680

Virtakiskojen reitti tulisi suunnitella mahdollisimman lyhyeksi ilman ylimääräisiä mutkia. Jokainen mutka virtakiskoreitillä lisää huomattavasti kiskoston hintaa ja vaikeuttaa lopullista asennusta.

9.3 Suurvirtajärjestelmä

Suurien virtojen siirto pienjännitekaapeleilla on myös mahdollista suurvirtajärjestelmää käyttäen. Suurvirtakaapelien käyttö voi tulla kyseeseen, jos virtakiskojen asennus ei ole mahdollista tai käyttäjä näkee kaapelien käytön tarpeelliseksi. Kaapeleita käyttäessä päästään myös eroon virtakiskojen käytännön asennuksien haasteista tilanteissa, joissa virtakiskot eivät mitoitus- ja toleransseiltaan ole suoraan liitettävissä keskenään rakennusvaiheessa.

Suurvirtajärjestelmässä käytetään vaihetta kohti yhtä tai useampaa yksijohdinkaapelia, jotka kiinnitetään yhteiseen kiinnikkeeseen siten, että vierekkäisten kaapeleiden vapaa väli on noin puolet kaapelin halkaisijasta. (22, s. 3.) Tyypillinen yksijohdinkaapeli tällaisessa järjestelmässä on muuntajaliitintään käytetty kuvan 24 mukainen PEX-muovieristeinen XMK-kuparikaapeli.

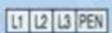
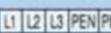
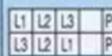


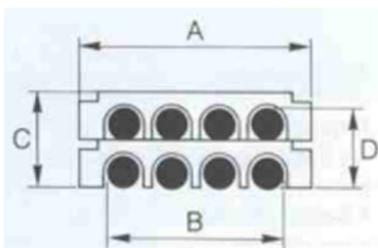
KUVA 23. Esimerkki XMK tyyppisestä kaapelista (19, s. 92).

Kun useita kaapeleita kytketään rinnan samaan vaiheeseen, kaapelit kuormittuvat tasaisesti, jos niiden impedanssit ovat yhtä suuret. Suurilla poikkipinnoilla reaktanssi muodostaa niin suuren osan impedanssista, että asennuskuviolla, eli kaapelien keskinäisellä järjestyksellä, on suuri vaikutus virran jakautumiseen. (22, s. 10.)

Tämän vuoksi suurvirtajärjestelmässä sekoitetaan kaapelihyllyyn asennetut eri yksijohdinkaapelien vaiheet keskenään tasoittamaan virran jakautumista. Taulukossa 7 on esitetty esimerkki vaiheiden asennuksesta käytettäessä vaihetta kohti yhtä tai useampaa yksijohdinkaapelia. Taulukossa esitetyt kuormitettavuusarvot pätevät vain, jos asennuskuvio ja kaapeleiden keskinäinen etäisyys säilyvät muuttumattomina, kun kaapelit kiinnitetään kaapelihyllyyn muovisilla tai alumiinisilla kiinnikerimoilla.

TAULUKKO 7. 4-johdinjärjestelmät suurvirtakaapeloinnissa (22, s. 5).

Asennuskuvio					
Järjestelmä — XMK-kaapelit	300 mm ² XZX 13 NCu	300 mm ² XZX 23 NCu	300 mm ² XZX 23 NMCu	300 mm ² XZX 33 NCu	300 mm ² XZX 43 NCu
Kuormit. vaaka-as.	630 A	1200 A	1200 A	1640 A	2270 A
Kuormit. pystyas.	600 A	1140 A	1140 A	1450 A	2020 A
Hyllysuositus	XYH...730	XYH...730	XYH...850	XYH...850	XYH...850
Kiinnike	*	*	*	*	*
leveys A/B mm	230/165	230/165	460/395	365/300	460/395
korkeus C/D mm	55/30	100/75	55/30	100/75	100/75
paino kg/m****	12,8	25,4	25,6	38,1	50,8



***Paino sisältäen kaapelit ja kiinnikkeet, XMK-kaapelit, 2 kiinnikettä / m

Kaapelihyllymateriaalina tulee suurvirtajärjestelmässä käyttää alumiinia sen magneettisten ominaisuuksien takia. Teräksisissä hyllyissä kaapeleissa kulkeva suuri virta aiheuttaa ongelmia induoituvien virtojen sekä kaapelihyllyn läheisyydessä syntyvien epämääräisten magneettikenttien takia. Induktiovirrat kaapelihyllyssä voivat aiheuttaa kaapelihyllyn lämpenemistä, joka aiheuttaa kaapelin kuormitettavuuden laskun perustuen kaapelin välittömän ilman korkeampaan lämpöti-

laan. Teräksisten hyllyjen vaikutus magneettisiin voimiin oikosulkuvirtatilanteissa olisi myös tutkimisen arvoista, sillä nopeissa transienteissa virtatilanteissa kaapelin aiheuttama magneettinen voima kaapelihyllyyn on todennäköisesti merkittävän suuruinen.

Suurvirtajärjestelmän kuormitettavuuteen käytetään standardin SFS6000-5-52 kanssa samoja periaatteita. Järjestelmän suurin kuormitettavuus määräytyy järjestelmän heikoimman kuormitettavuuden mukaan, jolloin tarkastellaan kuormitettavuusarvon lisäksi asennustapaa ja asennuspaikan ympäristövaikutuksia korjauskertoimien kautta. Jos useita järjestelmiä sijoitellaan vierekkäin, saadaan kunkin järjestelmän kuormitettavuus kertomalla yhden järjestelmän sallittu kuormitusvirta taulukosta 8 saatavalla kertoimella.

TAULUKKO 8. Korjauskertoimet kahdelle tai useammalle lähekkäiselle kaapelijärjestelmälle vaaka-asennuksessa (22, s. 12).

Taulukko 8. Korjauskertoimet kahdelle tai useammalle lähekkäiselle kaapelijärjestelmälle vaaka-asennuksessa.

Päällekkäisten vaakarivien lukumäärä	Kaapelien lukumäärä yhdessä vaakarivissä	
	3..4	6..8
1	1,00	0,96
2	0,95	0,91
3	0,87	0,84
4	0,82	0,80
5	0,79	0,77
6	0,77	0,75

Esimerkki: 2 kpl XZX 23 S vierekkäin



Kummankin järjestelmän kuormitettavuuden korjauskertoimen = 0,91

Jos ympäristön lämpötila poikkeaa 25°C:esta, käytetään lisäksi taulukosta 9 saatavaa korjauskorrointia.

TAULUKKO 9. Korjauskertoimet ympäristön ilman lämpötilan vaikutukselle. Johdinlämpötila 70°C (22, s. 13).

	Ilman lämpötila / °C							
	10	15	20	25	30	35	40	45
Korjauskerroin	1,18	1,12	1,06	1,00	0,93	0,86	0,79	0,71

Kanavaan asennettu kaapelijärjestelmä lämmittää kanavan ilmaa, kunnes kanavan seinämien kautta ympäristöön poistuva lämpö on yhtä suuri kuin kaapeleissa yhteensä syntyvä lämpöhäviö. Kanavan ilman lämpötilanousu Δt saadaan kaavasta:

$$\Delta t \text{ (}^\circ\text{C)} = \frac{P_h \left[\frac{W}{m} \right]}{3 \cdot p \text{ [m]}} \quad \text{KAAVA 11}$$

P_h on kaapelien häviölämpö pituusyksikköä kohden

p on kaapelikanavan tai nousukuilun poikkileikkauksen sisäpiiri

Näin saatu lämpötilan nousu lisätään ympäristön lämpötilaan ja määritellään kuormitettavuus taulukon 9 avulla. Lämpötilannousua voidaan tarkentaa iteroimalla eli laskemalla uusi arvo häviölämmölle P_h ja Δt .

KytKentä kupari- ja alumiinikiskoihin tapahtuu tyypillisellä kaapelikengällä. Kosketussuojaus toteutetaan muuntajalla koteloimalla muuntajan pienjännitepuolen kiinnikeosa. Kaapelijärjestelmässä asennusreitit suunnittelussa tulee huomioida XMK kaapelien taivutussäteet. Kaapelihyllyjen tilantarpeessa tulisi huomioida asennustila ja kaapelihyllyn kuormituksen pitää kestää valmiin asennuksen kuormituksen lisäksi myös veto- ja asennusrasitukset. (22, s. 17.)

10 MAADOITUS

Suomessa on pitkään ollut vallalla käytäntö, jonka mukaan pienjännitejärjestelmän tähtipiste ja PEN-johdin maadoitetaan keskijänniteverkon maadoitusjärjestelmään, eli käytetään yhteistä maadoitusta. Yhteisen maadoituksen käytölle on seuraavat ehdot suurjänniteasennuksessa tapahtuvan maasulun aikana:

- Pienjänniteverkossa tai siihen liitetyissä sähkön käyttäjän laitteistoissa ei esiinny vaarallisia kosketusjännitteitä.
- Sähkön käyttäjän pienjännitteisissä laitteistoissa esiintyvä pienjännitejärjestelmän tähtipisteen potentiaalinen noususta johtuvia käyttötaajuisten rasitusjännitteiden suuruus ei ylitä sallittuja arvoja.

(14, s. 54.)

Yhdistetyllä maadoituksella toteutetuissa TN-järjestelmissä ei esiinny rasitusjännitettä. Tämä on eräs suurimpia syitä siihen, että on siirrytty käyttämään yhteistä maadoitusta. Erillisillä maadoituksilla esiintyi suurjännitejohtoon osuneen salamaniskun seurauksena iso jännite suurjännitepuolen suojamaadoitettujen osien ja pienjännitepuolen välillä. Se aiheutti helposti muuntajan vaurioitumisen. (14, s. 54.)

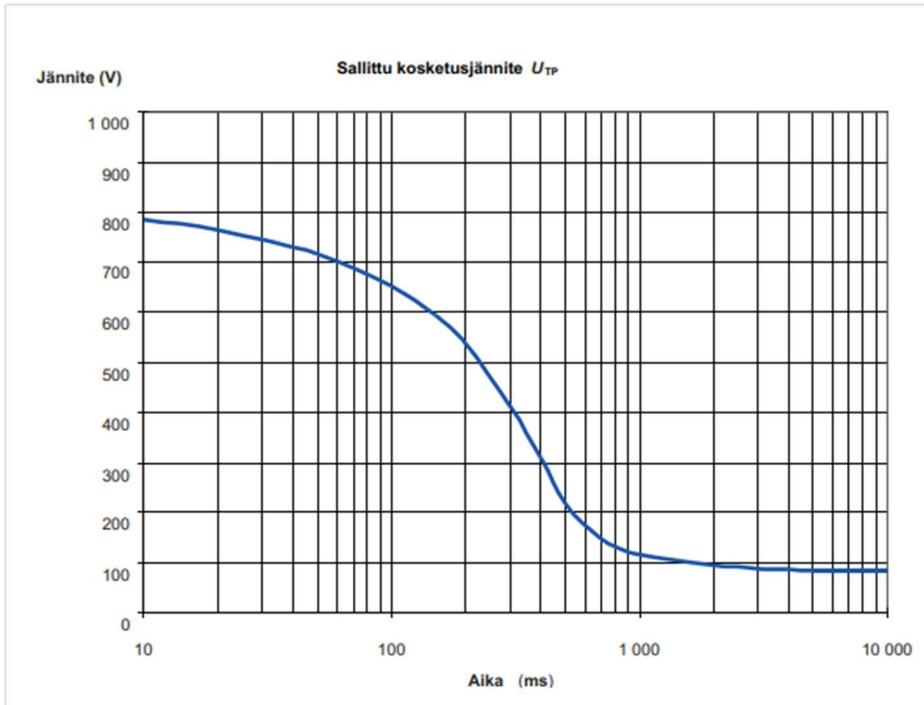
Yhteistä maadoitusta suositellaan käytettäväksi aina, kun se on mahdollista. Jos yhteistä maadoitusta ei voida käyttää standardisarjan SFS6000 ja SFS6001 mukaisesti, on käytettävä erillistä maadoitusta. Erillisen maadoituksen maadoitusjärjestelmät ovat usein hankalia ja tapauskohtaisia, niin ettei niille voida antaa yleispäteviä ohjeita.

TN-järjestelmässä yhteistä maadoitusta saadaan käyttää seuraavilla ehdoilla:

- Jos pienjännitejärjestelmä on maadoitettu vain muuntamalla. Maadoitusjännite $U_E \leq$ kosketusjännite U_{TP} . Sallittu kosketusjännite saadaan kuvasta 25.
- Maadoitusjännite $U_E \leq 2 \cdot U_{TP}$, kun pienjänniteverkolla on useita maadoituksia eli kyseessä on SFS 6000 mukainen maadoitusjärjestelmä. (Maadoitus muuntamalla ja jokaisella yli 200 metriä pitkällä johtohaaralla sekä liittymissä)
- Maadoitusjännite U_E voi olla suurempi, jos noudatetaan SFS 6001:ssä annettuja ehtoja. Jakeluverkkoyhtiöt suunnittelevat omien verkkojensa ja niihin liittyvien muuntamoiden maadoitusvaatimukset. Vaatimuksissa otetaan huomioon keskijänniteverkon nykyinen ja

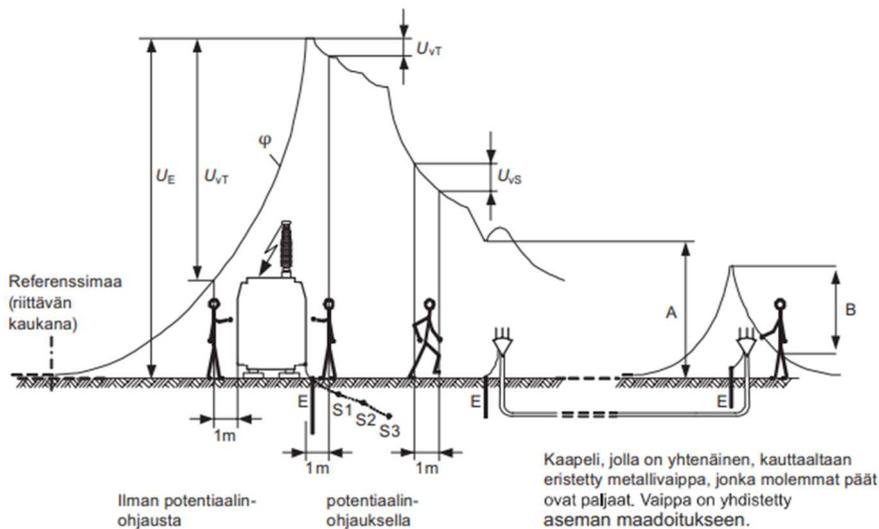
tulevaisuuden suunniteltu maasulkuvirta, erilaiset kytkentätilanteet ja taloudelliset seikat. Kuluttajamuuntamoita suunniteltaessa kannattaakin kysyä jakeluverkkoyhtiöltä kyseisessä verkossa käytössä olevia maadoitusresistanssin vaatimuksia.

(14, s. 55.)



KUVA 24. Suurin sallittu kosketusjännite altistuksen ajan suhteen (7, s. 93).

Kuvassa 26 on esitetty havainnollistava esimerkki maadoitusjännitteen ja kosketusjännitteen suhteesta tilanteessa, jossa maadoitusjohtimessa kulkee virta. Maadoitusjännitteellä käsitetään maadoitusjärjestelmän ja referenssimaan välistä jännitettä. Maadoitusjännitettä tärkeämpi on kosketusjännite, mutta se on luonteeltaan vaikea laskea ja mitata, minkä takia vaatimukset koskevat pitkälti maadoitusjännitteitä. Kosketusjännite on samanaikaisesti kosketeltavissa olevien johtavien osien välinen jännite. Kosketusjännitteeseen voi vaikuttaa huomattavasti esimerkiksi johtaviin osiin sähköisessä yhteydessä olevan henkilön impedanssi. (14, s. 51.)



Selite

E	Maadoituselektrodi	U_E	Maadoitusjännite
S1, S2, S3	Maadoituselektrodiin E yhdistetyt potentiaaliohjauselektrodit (esim. rengasmaadoituselektrodit)	U_{VS} U_{VT}	Suurin askeljännite Suurin kosketusjännite
		A	Siirtyvästä potentiaalista johtuva suurin kosketusjännite, jos kaapelin vaippa on maadoitettu vain toisesta päästään
		B	Siirtyvästä potentiaalista johtuva suurin kosketusjännite, jos kaapelin vaippa on maadoitettu molemmista päistään
		φ	Maanpinnan potentiaali

KUVA 25. Esimerkki maan potentiaaliprofiilista ja jännitteistä, kun maadoituselektrodeissa kulkee virta (7, s. 23).

Kuvasta 26 nähdään myös potentiaaliohjauksen tärkeys. Ilman potentiaalintasausta vaarallisten kosketus- ja askeljännitteiden ero syntyy hyvin suureksi lyhyelläkin matkalla. Potentiaalintasaus laajentaa esiintyvän maadoitusjännitteen suuremmalle alalle, jolloin lyhyellä matkalla kosketus- tai askelvälillä pysytään lähes samassa potentiaalissa ja pienentynyt jännite-ero ei synnytä suuria virtoja ruumiinosien yli.

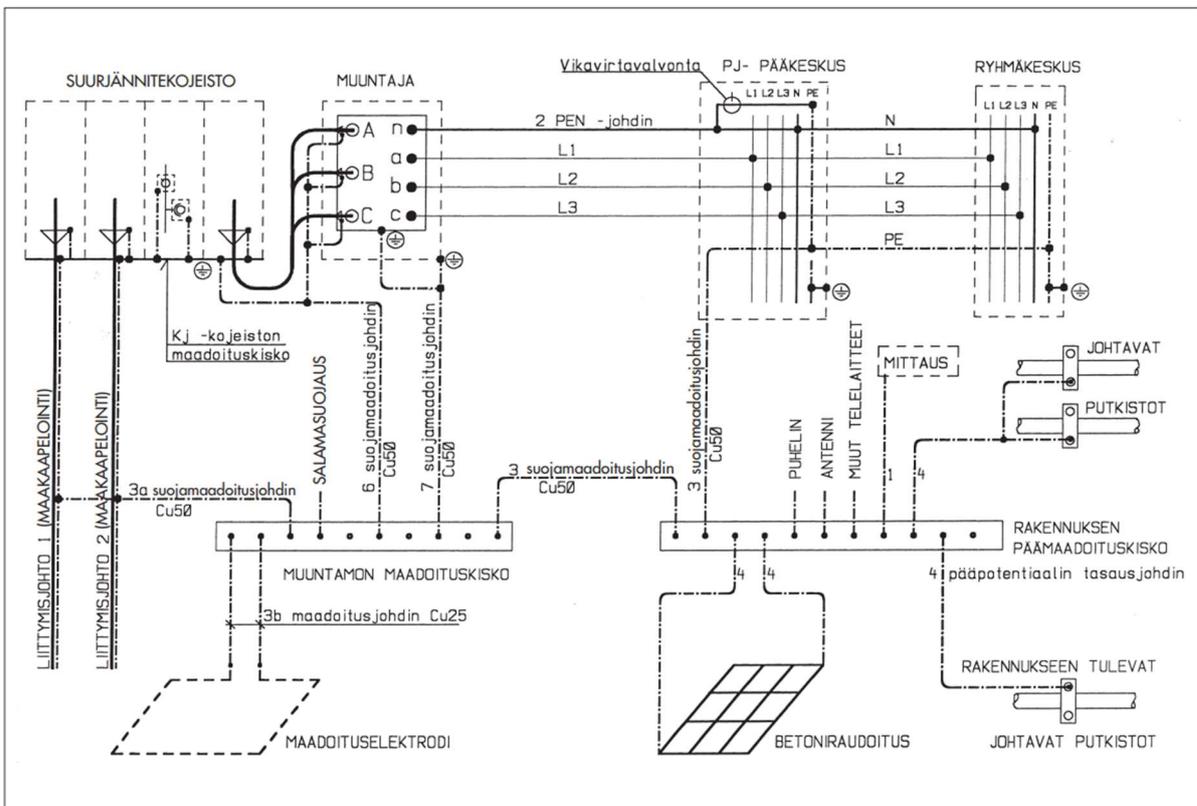
10.1 Yhdistetyn suurjänniteverkon ja pienjänniteverkon maadoitusjärjestelmä

Kuvissa 27 ja 28 on esitetty kaksi maadoituskaaviota. Kaaviot on laadittu liitettäväksi keskijänniteverkkoon ja oleelliset johdinvahvuudet on mitoitettu keskijänniteverkon perusteella. Esitetyissä kuvissa pienjännitekeskus on asennettu eri tilaan, kuin muuntaja. Jos pienjännitekeskus ja muuntaja sijaitsevat samassa tilassa, voitaisiin muuntamon maadoituskisko ja rakennuksen päämaadoituskisko yhdistää (1, s. 51).

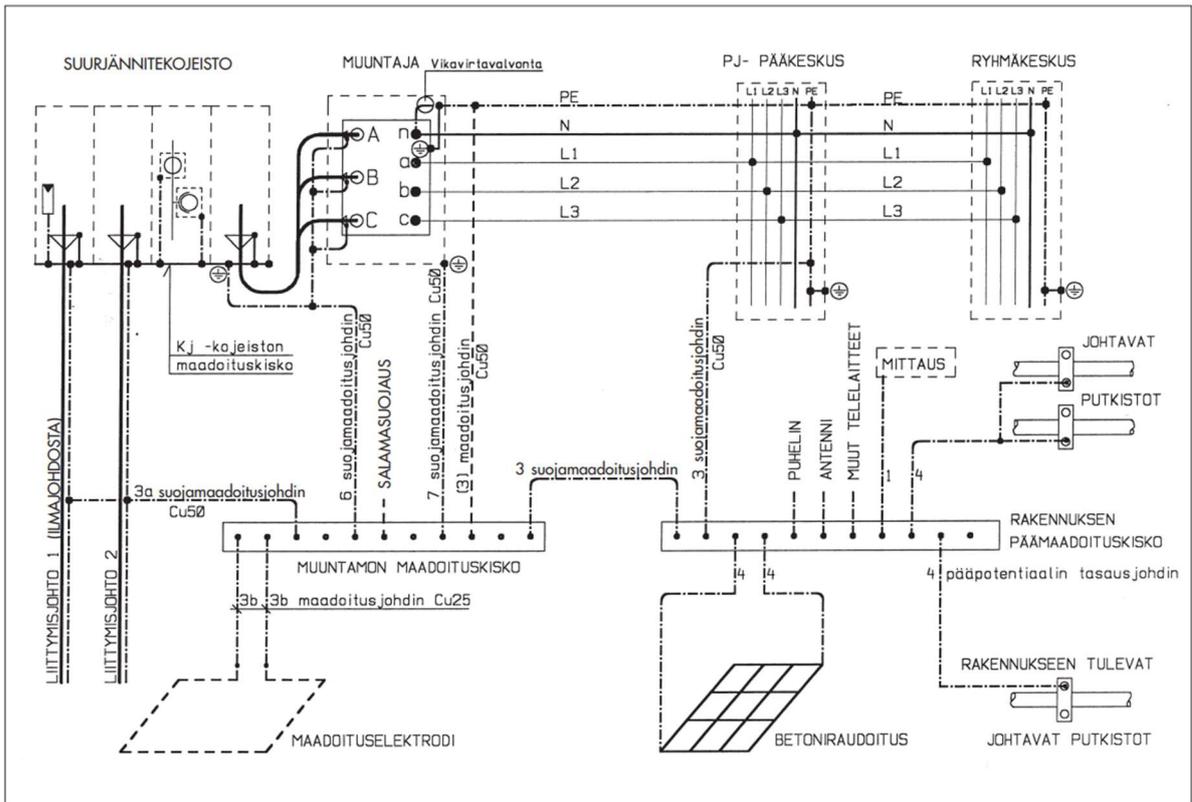
Muuntajan ja pienjännitekeskuksen välinen johto on nelijohtiminen, jolloin siinä on PEN-johto. Kuitenkin jos liittymisjohtona käytetään ilmajohtoa, tulee muuntamoon asentaa ylijännitesuojaus liittymiskennoon. Silloin on turvallista, että muuntajan vaippa ja n-napa yhdistetään muuntajan kannella mahdollisimman lyhyellä johtimella. Jos muuntajan vaippa ja n-napa yhdistetään tällä lailla, on N- ja PE-johdin erotettava tässä pisteessä haitallisten hajamagneettikenttien muodostumisen ehkäisemiseksi.

Mahdollinen muuntajan vikavirran valvonta asennetaan välittömästi PEN-johtimen haaroituksen jälkeen. Jos muuntajalta tulee PEN-johdin, asennetaan vikavirtavalvonta pääkeskukseen, mutta ilmajohdon ylijännitesuojauksen kanssa vikavirtavalvonta asennetaan muuntajalle haaroituspisteeseen.

Maadoitusjohtimet ja suojavaadoitusjohtimet ovat kaikki Cu50 -johtimia. Tähän mitoituskeeseen on päädytty PE-kiskon maadoitusjohtimen mitoitus säännön (SFS 6000) ja keskijänniteverkon kaksoismaasulkuvirran kautta. Mitoituksessa on myös haluttu päästä vakiopoikkipintaan, joka tyydyttää kaikkia osapuolia. Maadoituselektrodi on asennettu kahdella Cu 25 maadoitusjohtimella, jolloin niiden poikkipinta on yhteensä Cu 50. (4, s. 14.)



KUVA 26. Tyypillinen sähkökäyttäjän muuntamon maadoitus (4, liite 2).



KUVA 27. Muuntamon maadoitus, jossa liittynässä on ilmajohto ja ylijännitesuojaus (4, liite 3).

Muuntamon maadoituskiskolta asennetaan suojamaadoitusjohdin liityntäkaapeleiden keskusköysiin. Liityntäkennojen suojamaadoitus yhdistyy keskusköysien kautta, jolloin kojeiston kennon tai koko kojeiston vaihdon aikana mahdollinen kaksoismaasulku ei pääse aiheuttamaan vaaraa. Maadoituskäävioissa on oletettu keskijännitekojeistoissa olevan vähintään kaksoismaasulun kestävä maadoituskisko, johon kojeiston suojamaadoitusjohdin kytketään. Kojeston valmistaja suosittelee vaipan ja maadoituskiskon välisen yhdistämisen, joka tulee tarkistaa. Kaapelin keskusköysi tulee aina kytkeä saman kaapelin kennon maadoituskohtioon. Sitä ei saa erottaa kaapelista, kuin vasta kytkentäalueella. (14, s. 63.)

Pienjännitepuolella maadoituksessa on huomioitava myös enintään 1000V järjestelmien maadoitusvaatimukset pääkeskuksen ja päämaadoituskiskon välillä. Pääkeskuksen ja päämaadoituskiskon välisen suojamaadoitusjohtimen poikkipinnan pitää vastata maadoitusjohtimen vaatimuksia. Muuntamalla pitää ottaa huomioon PEN- ja suojamaadoitusjohtimen kanssa rinnakkain asennetuissa maadoitusjohtimissa esiintyvä oikosulkuvirran suuruus. (23, 543.1.3.)

Suojajohtimen on kestävä suojalaitteen toiminta-aikana esiintyvät prospektiivisen vikavirran aiheuttamat mekaaniset ja termiset rasitukset. Yleissääntö on, että suojajohtimen poikkipinnan on oltava taulukon 10 mukainen.

TAULUKKO 10. Suojajohtimen poikkipinta vaihejohtimen mukaan (14, s. 75).

Vaihejohtimen poikkipinta A/mm ²	Vastaavan suojajohtimen poikkipinta A/mm ² (suojojohdin samaa materiaalia kuin vaihejohdin)
A ≤ 16	A
16 < A ≤ 35	16
A > 35	A/2

Vaihtoehtoisesti suojajohtimen poikkipinta voidaan myös laskea kaavasta:

$$A = \frac{\sqrt{(I^2 \cdot t)}}{k} [\text{mm}^2]$$

KAAVA 12

I on suojalaitteen läpi kulkevan prospektiivisen vikavirran tehollisarvo [A]

t on suojalaitteen toiminta-aika [s]

k on johdinmateriaalista, eristemateriaalista ja johtimen rakenteesta riippuva kerroin (SFS 6000, liite 54A)

(14, s. 75.)

Keskijännitekaapeleilla on aina johtava metallinen vaippa. Vaipan maadoitukseen pätee yleisinä sääntöinä:

- Vaippa pitää aina maadoittaa.
- Pitkillä yli 100 m kaapeleilla maadoittaminen pitää suorittaa kaapelin kummassakin päässä sen takia, että oikosulun aikana vaipan pään jännite nousisi muuten vaarallisen suuruiseksi. Kun kumpikin pää maadoitetaan, syntyy virtapiiri ja vaippaan indusoitunut jännite synnyttää vaippaviran, joka vähentää kaapelin kuormitettavuutta n. 10 %.
- Jos keskijännitekaapeleilla käytetään johtavalla vaipalla varustettuja kosketussuojattuja päätteitä, maadoitetaan vaippa kummastakin päästä, sillä muuten päätteet saattavat vaurioitua. Päänteen potentiaalintasausjohtimet eivät kestä vikavirtoja, eikä edes kunnolla muuntajan kytkentävirtasysäyksiä.
- Yleissääntö on, että keskijännitteillä maadoitetaan kaapelin vaipat kummastakin päästä. Suurivirtaiset lyhyet kaapelit voidaan maadoittaa vain toisesta päästä, jos kaapelin pituus on pieni ja ei käytetä kosketussuojattuja päätteitä.

(14, s. 72.)

Suomessa on ollut sääntönä, että alle 200 kVA muuntajien suojana riittävät kaksoiskipinävälit lintupiikein erottimien yhteydessä ja suuremmille asennetaan aina metallioksidilyijännitesuojat muuntajan kannelle. Ylijännitesuojien maadoituksessa käytetään seuraavia periaatteita:

- Ylijännitesuojat kytketään aina suoraan suojattavan kohteen rinnalle mahdollisimman lyhyin johtimin.
- Ylijännitesuojien maadoitusjohdin tulee aina viedä mahdollisimman suoraan maahan.
- Maadoituselektrodi tulisi olla useampihaarainen, jolla saavutetaan pienempi aaltovastus. (3–4 kpl 10 m haaraa n. 0,5–0,7 m syvyydessä voidaan pitää riittävänä.)
- Ylijännitesuojauksen maadoituselektrodin maadoitusresistanssiin ei tarvitse kiinnittää huomiota, sillä keskijännitekaapelin toinen pää on yleisesti muuntamossa. Muuntopiirin maadoitusimpedanssi huolehtii riittävän alhaisesta kosketusjännitteestä, joka määräytyy aina käyttötaajuuden mukaisesti.

(14, s. 72.)

10.2 Laaja maadoitusjärjestelmä

Laaja maadoitusjärjestelmä on yhtenäinen maadoitusjärjestelmä, joka on toteutettu kytkemällä yhteen paikalliset maadoitusjärjestelmät. Yhteen kytkettyjen paikallisten maadoitusjärjestelmien läheisyys varmistaa sen, ettei vaarallisia kosketusjännitteitä esiinny. (7, s. 20.)

Laaja maadoitusjärjestelmä pitää tunnistaa ja määrittää alueet, jotka kuuluvat laajaan maadoitusjärjestelmään. Jakeluverkkoyhtiö määrittelee, kuuluuko uusi muuntamo laajaan maadoitusjärjestelmään. (14, s. 70.)

Kun uusi muuntamo rakennetaan laajan maadoitusjärjestelmän alueelle, ei maadoitusimpedanssia tarvitse mitata, mutta mittauksin on kuitenkin ennen käyttöönottoa todettava muuntamon luotettava liittyminen laajaan maadoitusjärjestelmään. (14, s.70) Jos liityntää ei tehdä, tulee verkonhaltijalta tiedustella muuntamon maadoituselektrodeille vaadittava maadoitusimpedanssin mitoitussarvo (4, s. 15).

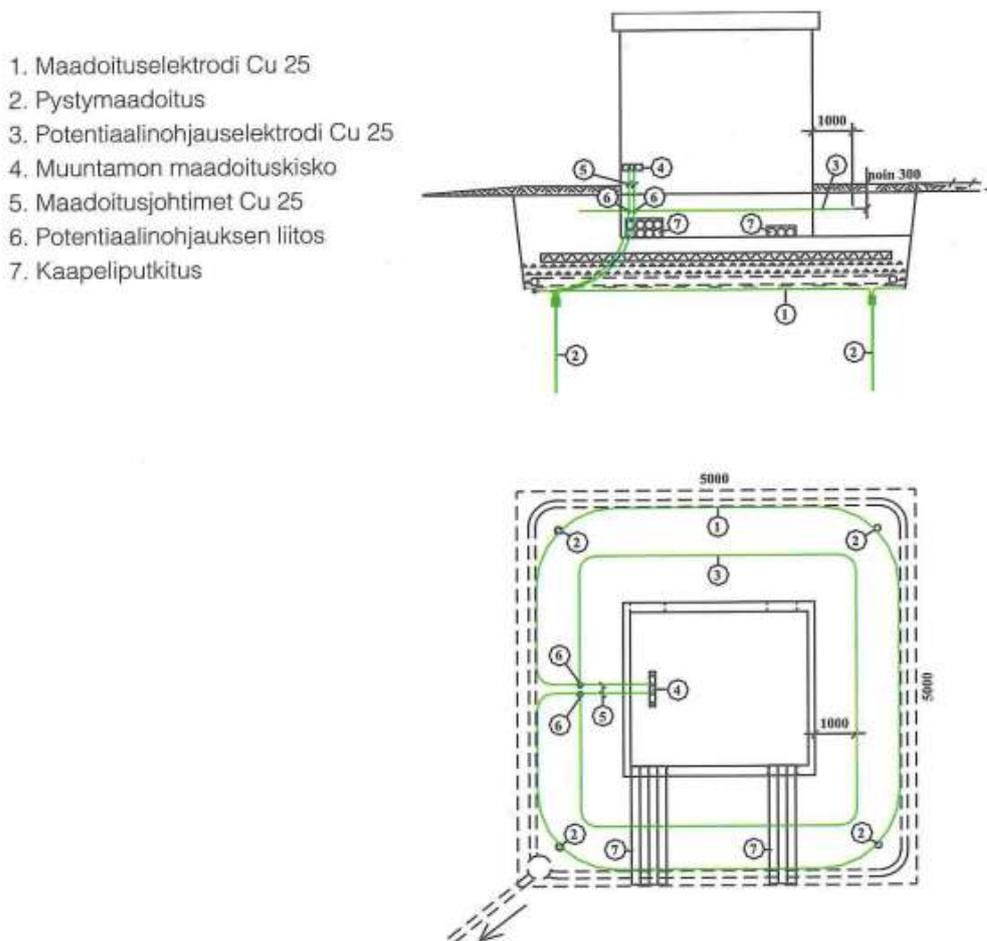
Laajan maadoitusjärjestelmän yhdistysjohtimina toimivat:

- suurjännitekaapeleiden vaipat ja keskusköydet
- pienjänniteverkon PEN-johtimet sekä maakaapeleissa että ilmajohdoissa
- mahdolliset muuntamoita yhdistävät erilliset maadoitusjohtimet ja elektrodit
- tarvittaessa myös ilmajohdon pylväisiin rakennetut maadoitusjohtimet.

(14, s. 70.)

10.3 Puistomuuntamon maadoitus

Maadoituselektrodi rakennetaan aina muuntamolle ja tarpeen mukaan maadoitusta parannetaan kaapeliin ja jakokaapeille asennettavilla maadoituselektrodeilla. Kuvassa 29 on esimerkki puistomuuntamon maadoituksesta, jossa kuvatut maadoituselektrodit ja -johtimet ovat Cu 25. (14, s. 66.)



KUVA 28. Puistomuuntamon maadoitus (14, s. 66).

Muuntamolle rakennetaan potentiaalinhjauselektrodi n. 300 mm syvyydelle maan pinnasta ja 1 m etäisyydelle seinistä. Potentiaalintasausjohdinta ei tarvitse rakentaa, jos maadoitusimpedanssi täyttää ehdon $U_E \leq 2 \cdot U_{TP}$. Jos tätä ei tiedetä rakentamisvaiheessa, on syytä rakentaa potentiaalinhjaus. Muuntamon maadoituselektrodi sijoitetaan perustuksen pohjalle. Sitä voidaan maaperän mukaan parantaa syvämaadoituksin. Koko järjestelmä voidaan elektrodien johtimen osalta rakentaa ehjäksi lenkiksi, jolloin sen eheyden pystyy tarvittaessa toteamaan mittauksella. (14, s. 67.)

11 MUUNTAMON RAKENTEELLISET VAATIMUKSET

Muuntamoita rakennettaessa on huomioitava rakenteelliset vaatimukset. Rakenteellisiin vaatimuksiin vaikuttavat normaalikäytön ja erinäisten vikatilanteiden aiheuttamat ongelmat. Sähkösuunnittelijan on hyvä tunnistaa muuntamon rakenteelliset vaatimukset, jotka vaikuttavat myös suunnittelualan ulkopuolelle arkkitehtuuriin, LVI-suunnitteluun ja RAK-suunnitteluun. Yleisten muuntamon ohjeistojen lisäksi on huomioitava myös verkonhaltijoiden kuluttajamuuntamon ohjeistot.

11.1 Paloturvallisuus

Rakennusten palotekniset vaatimukset on esitetty ympäristöministeriön asetuksessa 848/2017. Muuntamon palokuorma määräytyy muuntamoon sijoitettavien laitteiden ja niiden sisältämien palavien aineiden ja rakenteiden palokuorman perusteella. Taulukossa 11 on esitetty rakennukseen sijoitetun muuntamon palo-osastointiin liittyviä vähimmäisvaatimuksia. Taulukosta huomataan, että muuntajien sisältämällä öljymäärällä on ratkaiseva vaikutus muuntamon palokuormaan ja rakenteisiin. (4, s. 4.)

TAULUKKO 11. Sisällä sijaitsevien muuntaja-asennusten vähimmäisvaatimukset (7, s. 71).

HUOM. Lyhennekirjaimet R, E ja I esittää rakenteen (seinän) rakentamismääräysten mukaisia ominaisuuksia, jossa EI tarkoittaa ei-kantavaa rakennetta (seinää) ja R tarkoittaa kantavuutta. E tarkoittaa rakenteen tiivyyttä, I tarkoittaa eristävyyttä ja 60/90 tarkoittaa palonkestävyysaikaa minuuhteina.

Muuntajatyyppe	Luokka	Suojaustoimenpiteet
Öljyeristeiset muuntajat (O)	Nestemäärä	
	< 200 l	EI 60
	200 ... 1 000 l	EI 120 tai EI 60 ja automaattinen sammutuslaitteisto
	> 1 000 l	EI 240 tai EI 60 ja automaattinen sammutuslaitteisto
Vähemmän palonarat neste-eristeiset muuntajat (K)	Nimellisteho/maksimi jännite	
	(ei rajoitettu)	EI 60 tai EI 30 ja automaattinen sammutuslaitteisto
Kuivamuuntajat (A)	Paloluokka	
	F0	EI 60
	F1	Pintojen on täytettävä luokan B-s1,d0 vaatimukset
HUOM 1 Jos rakenteet ovat kantavia, niiden pitää täyttää sama aikavaatimus myös kantavuuden suhteen		
HUOM 2 Hartsieristeisten muuntajakäymitysten määräjoiin toistuvaan puhdistukseen on varattava riittävä tila, jotta ilman tai muuntajan pinnan likaantuminen ei aiheuta sähkövikoja ja palovaaraa.		

Ovien palonkestävyyden on oltava vähintään EI 60. Suoraan ulos aukeavien ovien osalta riittää, että ne eivät ole palonarkaa materiaalia. Muuntajien toiminnalle tarpeelliset tuuletusaukot ovat sallittuja ovissa tai vastakkaisilla seinillä. Aukkoja suunniteltaessa mahdollinen kuumien palokaa-

sujen ulosvirtaus on otettava huomioon. (7, s. 71.) Sähkötilojen ovista pitää olla mahdollista poistua ulkopuolelle avaamalla ne ilman avainta, työkalua tai muuta laitetta, joka ei ole osa avausmekanismia (23, s. 5).

Rakennuksessa muuntamotilan ulkopuolella tulee liityntäkaapelit asentaa palonkestävästi. Kukin liityntäkaapeli on sijoitettava läpiviennissä omaan putkeensa. Kaapelin osajohtimia tai keskusköyttä ei saa erottaa toisistaan muualla kuin pääterakenteessa. Kanavassa sekä kaapelihyllyllä on kaapeleiden väliin asetettava tiili- tms. suoja, joka estää muiden kaapeleiden tai toisen liityntäkaapelin tuhoutumisen oiko- tai maasulussa. Liityntäkaapeleille varataan oma kaapelihylly. (4, s. 12.)

Osastoivan rakennusosan läpi johdetut putket, roilot, kanavat, johdot, savupiiput ja hormit, sekä kuljetinlaitteistojen edellyttämät läpiviennit eivät saa olennaisesti heikentää rakennusosan osastoitavuutta. (Ympäristöministeriön asetus 848/2017 rakennusten paloturvallisuudesta, 18§, julkaistu korttina ST11.56) Tämä edellyttää kaapeleiden, ilmanvaihdon kanavien tms. läpivientien tiivistämistä niin, etteivät ne heikennä läpäistävän rakenteen osastoitavuutta. Johdettaessa ilmanvaihdon kanavia rakennuksen muiden tilojen kautta, on niiden paloeristyksen täytettävä ympäristöministeriön asetuksen 848/2018 19 § vaatimukset (4, s.4).

Muuntamon ulkopuolisten hormien rakenteen on täytettävä palomääräysten vaatimukset (E7). Esimerkiksi palopeltien käyttö on mahdollista. Poistoaukon välittömässä läheisyydessä ei saa olla palavia rakenteita. (4, s. 6.)

11.2 Sprinklaus

Tyypillinen automaattinen sammutusjärjestelmä rakennuksissa on sprinkler-järjestelmä, jonka toiminta perustuu sprinkler-järjestelmän suuttimien kapselien sulamiseen tietyssä lämpötilassa, jolloin vesi pääsee virtaamaan suuttimista paloalueelle. Koska sprinkler-järjestelmän toiminta perustuu vesisuihkutukseen, on se lähtökohtaisesti sähkötiloissa hankala laitteiston kestävyys ja turvallisuuden kannalta.

Rakenteellisen paloturvallisuuden ohjekirjan RIL 195-1-2018 mukaan automaattista sammutuslaitteistoa suunniteltaessa lähtökohtana tulisi olla, että rakennus varustetaan kokonaisuudessaan automaattisella sammutuslaitteistolla. Kuitenkin suunnitteluperusteet mahdollistavat rakennuksen

osittaisen suojaamisen, mikäli automaattisella sammutuslaitteistolla suojatut ja suojaamattomat tilat erotetaan toisistaan palo-osastoinnilla. (24, s. 151.)

Koska muuntamotilat on lähtökohtaisesti palo-osastoitu erikseen vähintään EI60 luokkavaatimuksella, voidaan edellisen mukaan mahdollisesti rakennuksen lupavaiheessa määrittää muuntamotilat suojaamattomiksi. Tämä edellyttää, että palosuunnittelijalle tiedotetaan jo lupavaiheessa rakennukseen tulevan muuntamo, mikä otetaan huomioon palosuunnittelussa. Suojaamattomuus pitää hyväksyttävä paikallisella paloviranomaisella. Suojaamattomuus toki edellyttää rakennuksen osalta muuntamon hyvää sijoitusta sellaiseen paikkaan, jossa paloturvallisuus ei aiheuta ongelmia. Yleisesti hyvänä sijoituksena riittää, että muuntamo sijaitsee lähellä ulkoseinää, jossa ovi aukeaa ulospäin ja osastoinnin ympärillä ei ole merkittäviä vaarassa olevia tiloja, kuten asuntoja.

Vaihtoehtoisesti sprinkler-järjestelmän sijaan sähkötiloihin sopivampana vaihtoehtona voidaan käyttää kaasusammutuslaitteistoa. Kaasusammutuslaitteiston sammutteena toimii kaasu, joka joko pienentää suojattavan tilan happipitoisuutta tai katkaisee palamiseen tarvittavan ketjureaktion. Kaasusammutuslaitteiston etuna on, että oikein suunniteltuna sen toiminta ei aiheuta lisävahinkoja suojattavalle tilalle. (24, s. 151.)

Kaasusammutuslaitteiston suunnittelussa tyypillistä on henkilöturvallisuuden takaaminen, sammutuskaasun säilytyskäyttöiden sijoituksen mahdollisuus ja ilmaston toiminnan yhdistäminen sammutustilanteeseen, jolloin ilmasto ei heikennä sammutustoimintaa. Henkilöturvallisuuden kannalta muuntamotilat ovat normaalikäytössä tyhjä ja tilaan ei ole ilman käytönjohtajaa mahdollista päästä. Kytkeätilanteissa muuntamon ovet pidetään auki, jolloin käyttötoimenpiteitä tekevällä henkilöstöllä on suora kulkuyhteys pois rakennuksesta vaaratilanteissa.

Muuntamon automaattisesta palosuojauksesta on myös huomioitava verkonhaltijan vaatimukset. Eri verkonhaltijoilla voi olla vaatimus, että esimerkiksi öljymuuntamoissa on oltava automaattinen palosuojausjärjestelmä. Asiasta on siis oltava yhteydessä myös verkonhaltijaan ja keskusteltava kohdekohtaisesti, miten automaattinen palosuojaus kohteessa toteutetaan.

Jos muuntamotilassa tapahtuu sprinkler-suuttimien vahinkoavautuminen ja vesisuihku tuhoaa keskijännitelaitteistoa, voi taloudellinen vahinko olla merkittävän suuri. Jos sprinkler-järjestelmä kuitenkin suunnitellaan muuntamotilaan, voidaan muuntamotilassa käyttää vesivahingonestosuojausta, esimerkiksi niin sanottua Deluge-venttiiliä. Muuntamotilassa oleva sprinkler-putkisto pidetään kuivana ja putkisto yhdistetään normaaliin muuntamon ulkopuoliseen sprinkler-putkistoon Deluge-venttiilillä. Deluge-venttiili pitää putkiston tyhjiällä, kunnes paloilmoitinjärjestelmästä on

tullut ilmoitus palosta ja sprinkler-suutin on auennut. Pelkkä suuttimen aukeaminen ei siis riitä venttiilin aukaisuun, jolloin sammutusveden tahaton purkautuminen ei ole mahdollista.

Vakuutusyhtiöiden ja rakennuttajien aloitteesta on öljymuuntajia varustettu sprinklerisammuttimilla silloin, kun rakennus, jossa muuntaja sijaitsee, varustetaan automaattisella sammutusjärjestelmällä. Tällöin on edellytetty, että vesisuihku tai vesisumu suunnataan muuntajaan eikä kytkinlaitteisiin. Välittömästi muuntamon ulkopuolelle tulee asentaa venttiili, jolla veden pääsy muuntamoon voi sulkea työskentelyn ajaksi. Halogeenien käyttö sammutukseen on kokonaan kielletty. (4, s. 9.)

11.3 Valokaarisuojaus

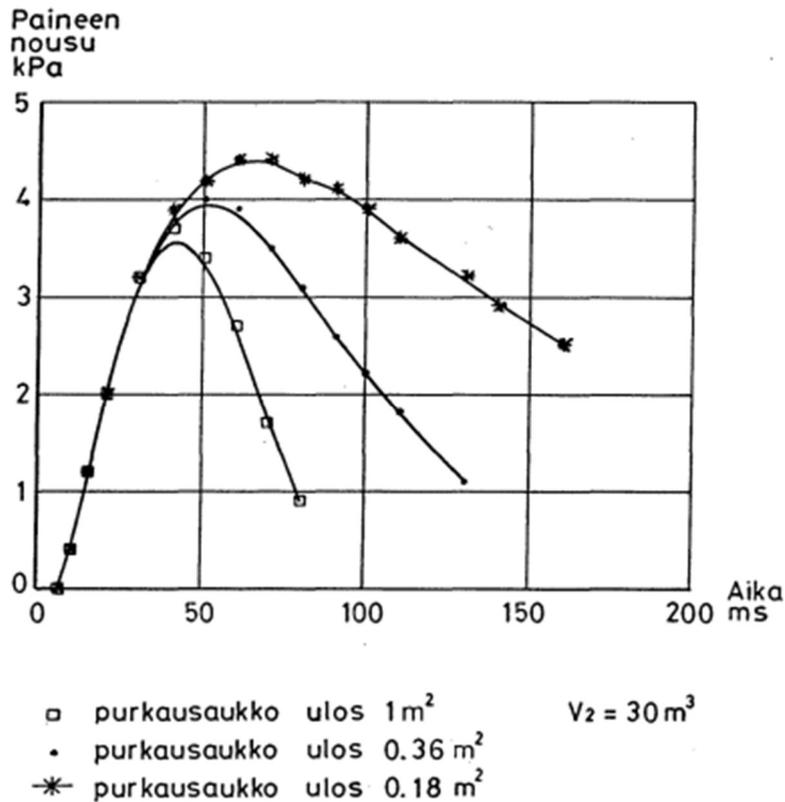
Rakennuksen suunnittelussa on otettava huomioon valokaarivian aiheuttama sisäinen paine (7, s. 54). Laitteistot on suunniteltava ja asennettava siten, että henkilöstö on mahdollisimman hyvin suojattu valokaarivioilta (7, s. 67). Valokaari on vikatilanne, joka syntyy kahden elektrodin välille tilanteessa, jossa sähkökentän voimakkuus on riittävän suuri synnyttämään virtareitin ionisoituneen kaasun läpi. Tämä tapahtuu esimerkiksi kytkentätilanteissa, missä virran kulkureitin johtimet ovat hetkellisesti niin lähellä toisiaan, että valokaari pääsee syntymään. Valokaari on vaarallinen vikatilanne, sillä ionisoitunut kaasu tuottaa hyvin kuumaa plasmaa, joka pystyy sulattamaan elektrodien rakenteet ja pahimmillaan voi synnyttää suuren painesysäyksen aiheuttaen henkilövaaraa.

Valokaaren aiheuttama paine voi purkautua muuntamotilasta:

- Kytkentätilanteessa avoimesta ovesta (ovi on oltava lukittavissa auki asentoon).
- Erityisistä suurjännitekojeiston paineenpurkausaukoista. Kojeistolla vaadittavan tilan ja paineenpurkaukkojen mitoitus riippuu kojeiston tyypistä ja oikosulkuvirrasta (7, s. 55).
- Ilmanvaihdon aukoista. Ilmanvaihtokanavien poikkileikkausten yhteenlasketun pinta-alan on oltava vähintään 0,18 m².

(4, s. 6.)

Kuvassa 30 on esitetty valokaarioikosulun aiheuttaman valokaaren välittömän ympäristön paineen nousu. Kuvasta nähdään, ettei poistoaukkojen koolla ole suurta merkitystä paineen huippuarvoon, mutta paineen vaikutusaikaan poistoaukon koolla on ratkaiseva merkitys. (25, s. 3.)



KUVA 29. Valokaarioikosulun aiheuttama paineen nousu valokaaren välittömässä ympäristössä (25, s.3).

Valokaarioikosulussa syntyvä paineisku tulee ottaa huomioon muuntamon rakenteiden mitoituksessa. Etenkin osastoivien seinien kohdalla valokaaripaine muodostuu usein mitoittavaksi tekijäksi. Taulukossa 12 on esitetty esimerkki seinärakenteiden mitoituksesta valokaarioikosulun aiheuttaman paineen mukaan. (4, s. 7.)

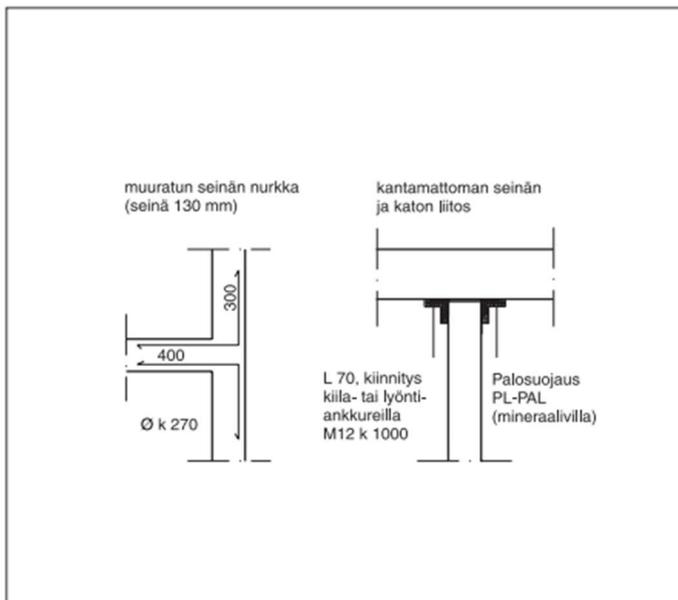
TAULUKKO 12. Muuntamotilan ja vastaavankokoisen kytkinlaitostilan seinärakenteet valokaarioikosulun aiheuttaman paineen mukaan mitoittuna (4, VTT:n tutkimusseloste RAT 1328/91).

Rakenne	Seinän paksuus mm	Ohje
Betoni	120	Ø 8 K 200 A500H ¹⁾
Tiili	130	Tiilien lujuusluokka ≥ 25 Laastin lujuusluokka ≥ 8
Kevytbetoni-harkko	290	KSB 3-650

1) Verko seinän molemmissa pinnoissa tuella ja kentässä.

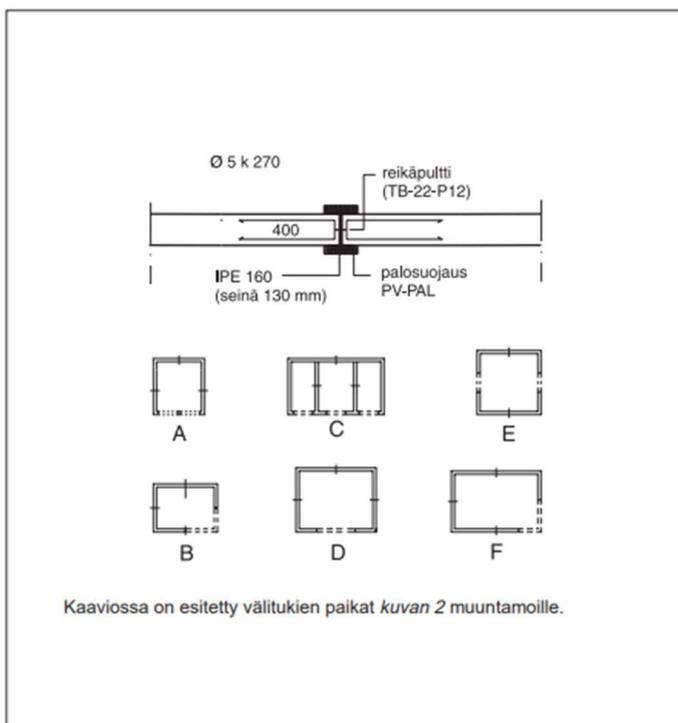
On huomattavaa, että muuratut seinät on kiinnitettävä lattiaan sekä kattoon. Kantamaton muurattu seinä, joka ei ole kiinnitetty kattoon, ei ole paineenkestoltaan vertailukelpoinen. Kuvassa 31 on

esitetty esimerkki seinätuennasta kattoon sekä muuratun väliseinän seinänurkkauksien tukemisesta.



KUVA 30. Muuratun seinän tuenta (11, s. 4).

Jos muuntamotilan seinät muurataan, sijoitetaan seinien välituet kuvan 32 mukaisesti.



KUVA 31. Muuratun seinän välituki (11, s. 4).

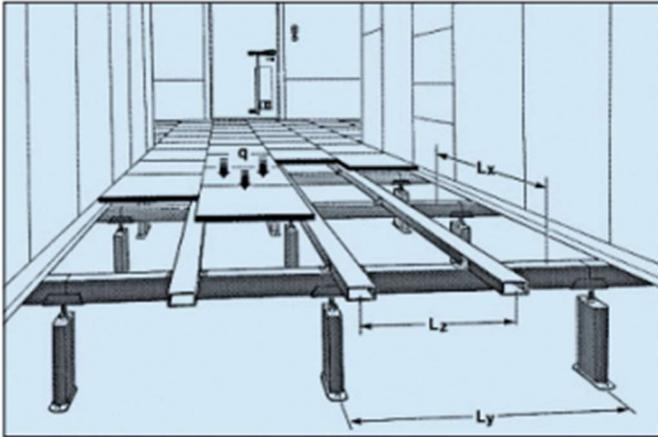
SF₆-kaasueristeisissä kojeistoissa ovat kytkinlaitteet kaasutilassa. Kaasutilassa tapahtuva valo-kaarioikosulku murtaa paineenpurkauskalvon ja SF₆-kaasu pääsee purkautumaan. Useissa kojeistoissa paine purkautuu alas kaapelitilaan, mutta paineen purkusuunta on tarkistettava laitekohtaisesti. Kaapelitilaa ei pidä sulkea tiiviisti, vaan purkautuvalle kaasulle pitää järjestää tilaa. Paineen voi antaa levitä koko muuntamotilaan. Paineen purkusuunnassa on kiinnitettävä huomiota käyttäjän turvallisuuteen. Jos paine purkautuu lähellä olevaan seinään tai kattoon, joutuu käyttäjä purkautuvien kaasujen vaikutuspiiriin nopeasti. (25, s. 5.)

Muuntamon raskas palo-ovi ei pysty toimimaan avautuvan paineen purkausaukkona. Muuntamon ovesta tulee käyttää kiinteitä, oveen upotettuja lukkoja, joissa on tukeva lukituskieli. Pintaan kiinnitetyjä lukkoja on irronnut valokaaripaineen vaikutuksesta (4, s. 7). Muuntamon oven on pysyttävä lukittuna valokaarioikosulun tapahtuessa, koska muutoin kuka tahansa pystyisi kulkemaan vapaasti muuntamotilaan asettaen itsensä henkilövaaraan.

Pienjännitekeskuksessa syntyvä valokaarioikosulku aiheuttaa lähes suurjännitteellä syttyvän oikosulun luokkaa olevan valokaaripaineen (4, s. 7). Pienjännitekeskuksella tapahtuva valokaarioikosulku on erittäin vaarallinen, sillä valokaari voi syntyä lähellä käyttäjää. Tyypillinen valokaari syntyy esimerkiksi huollossa työkalun putoamisen seurauksena. Pienjännitekeskuksilla voidaan valokaarisuojaukseen käyttää esimerkiksi valokaarisuojarelettä.

11.4 Lattiarakenne

Muuntamoissa käytetyt asennuslattiat ovat elementtityyppisiä koottavia ja avattavia rakenteita, joiden asennuslattiajalkojen ja tarvittaessa niiden väliin asennettavien välitukien päälle asetellaan asennuslattian levyt. Kuvassa 33 on erään valmistajan profiiliputkirakenteinen alusrakenne, jossa välituet lattiajalkojen välillä ovat pitkittäisiä jatkuvia tukirakenteita, joilla päästään suurempiin ne-
liökuormitettavuuksiin.



KUVA 32. Profiiliputkirakenteinen alusrakenne mahdollistaa suuret kuormitettavuudet ja enemmän tilaa vievät asennukset (26, s. 3).

Rakenteellisesti asennuslattian ratkaisua valittaessa on otettava huomioon koko asennuslattian rakenteen kantavuus. Levyjen pistekuormitettavuus on määräävä tekijä ja sen osalta on huomioitava myös varmuuskerroin. Neliökuormitettavuuden määrittelyssä on huomioitava sekä levyjen että alusrakenteen lujuus, joka on riippuvainen myös asennuslattian korkeudesta. (26, s. 3)

Sähkönjohtavuus määritellään kokonaisvaltaisesti siten, että se käsittää pintamateriaalin, levyrakenteen ja alusrakenteen osat. Myös lattian maadoittamiselle on oltava ohje. Paloluokitus määritellään koko rakenteelle. (26, s. 3.) Asennuslattioille ei aseteta standardissa vaatimuksia, mutta käyttökohteen mukaan asennuslattian tyyppi kannattaa varmistaa. Teollisuuteen tähtäävä PSK standardisointi edellyttää varsinaisen kojeistotilan varustettavaksi eristävällä lattiapinnoitteella (27, s. 6). Standardin mukainen materiaalin eristävyys täyttyy, kun mitattu eristävyys on suurempi kuin 100 GΩ. Tämä voidaan saavuttaa esimerkiksi tehtävään soveltuvalla epoksinnoituksella, kumi- tai muovimatoilla. Materiaalivalinnassa on tarkistettava verkonhaltijan ohjeistus kiinteistömuuntamon lattiamateriaalin vaatimuksesta. Esimerkiksi Helen vaatii epoksinnoitteen, joka ei ole liukas, mutta valmistajien mukaan epoksinnoite soveltuu sähkötiloihin vain tietyin varauksin.

Asennuslattiaa rakennettaessa on huomioitava muuntajan paino, joka voi olla esimerkiksi 1000 kVA muuntajan tapauksessa yli 3000 kg. Asennuslattia onkin rakennettava siten, että muuntaja voidaan siirtää lopulliseen sijoituspisteeseen vaurioittamatta lattiarakenteita, jotka lähtökohtaisesti eivät välttämättä kestä tällaisia painoja. Toisin sanoen asennuslattia on tuettava rakenteellisesti niin sijoituspisteissään, joihin laitteisto sijoitetaan, mutta myös siirtotiellä, jossa muuntaja kuljetetaan, ellei muuntajaa voida nostaa suoraan paikoilleen.

Usein asennuslattia ei kuitenkaan ole minkään valmistajan tuote ja tällaisissa tilanteissa on hyvä varmistaa rakennesuunnittelijan kanssa asennuslattian metallitukien rakenne muuntajalle, keski-jännitekojeistolle ja mahdolliselle pääkeskukselle. Piirustuksessa tulisi käydä ilmi tuettavien laitteistojen koko, paino ja sijoitus muuntamotilassa, jolloin rakennesuunnittelija pystyy osaltaan määrittelemään tuentaraudoitusten sijoitukset. On myös hyvä huomioida, että kojeistojen valmistajilla on toleranssivaatimukset lattiarakenteen epätasaisuuden suhteen, joskin epätasaisuutta voidaan kompensoida esimerkiksi kojeiston alle lisättävillä metallilevyillä asennusvaiheessa.

Lattialevyjen suhteen voidaan olla yhteydessä projektin ohjaukseen, sillä asennusvaiheessa voi olla hyvinkin eriäviä mielipiteitä esimerkiksi siitä, asennetaanko kojeisto lattialevyjen päälle vai jätetäänkö lattialevyt asentamatta kojeiston kohdalla. Jos kojeisto on lattialevyjen päällä, on huomioitava levyjen aukotus kojeiston kaapeliliitännöiden kohdalla ja mahdollisuus levyjen irrottamiseen siten, että asennuslattian alle on pääsy jälkikäteen tehtäviä asennuksia varten. Tukiraudituksen sijoittelun ohjauksessa on otettava huomioon kojeiston valmistajan vaatimukset seinän ja kojeiston välisistä etäisyyksistä.

11.5 Ilmanvaihto

Muuntajilla suositellaan käytettäväksi ensisijaisesti luonnollista ilmanvaihtoa. Yleensä luonnollista ilmanvaihtoa voidaan käyttää ongelmitta puistomuuntamoissa, joissa riittävä jäähdytys saavutetaan, mutta kiinteistöihin rakennettavissa muuntamoissa voi olla perusteltua rakentaa koneellinen ilmanvaihto riittävän ilmanvaihdon takaamiseksi ja esimerkiksi SF₆-kaasuvuotojen poistamiseen.

Ilmanvaihtokanavat on johdettava mahdollisimman suoraan ulos ja tuloilma on otettava mahdollisimman viileästä ja pölyttömästä paikasta. Kanavat eivät saa olla yhteisiä muiden kiinteistön ilmanvaihtokanavien kanssa. (4, s. 5.)

Tuloilma tulisi ohjata muuntajan alaosaan, jotta jäähdytys olisi tehokasta. Ylös muuntajatilaan tuleva viileä ilma törmää muuntajasta nousevaan lämpimään ilmaan ja poistuu ulos, jolloin jäähdytys jää vähäiseksi. (4, s. 5.)

Ilmanvaihtokanavien ulkoilman puoleiseen päähän suositellaan vahvaa kiinteää säleikköä, jonka silmäkoko on enintään 20 mm. Säleikön tai verkon ja kanavien rakenteen on oltava sellainen, ettei niiden läpi voida työntää esineitä vaarallisesti muuntamoon. Niiden kautta ei saa myöskään päästä sadevettä muuntamoon. (4, s. 5.)

Koneellisessa ilmanvaihdossa on poistettava taulukon 13 mukainen ilmamäärä. Sitä tulee suurentaa, jos kuormitushuippu sattuu kesäaikaan tai kuorma on tasaista koko vuorokauden. Taulukon arvot pätevät tavanomaiselle verkonhaltijan muuntamon kuormitukselle, jolloin huippu ei ole kesäaikana. (4, s. 6.)

TAULUKKO 13. Muuntamosta poistettava ilmamäärä, kun käytetään koneellista ilmanvaihtoa (4, s. 6).

Muuntajateho kVA	Poistettava ilmamäärä [m ³ /h]	
	Dt = 20 °C	Dt = 10 °C
800	1200	2300
1000	1400	2800
1250	1600	3100
1600	1900	3900

Dt = tulo- ja poistoilman lämpötilan erotus

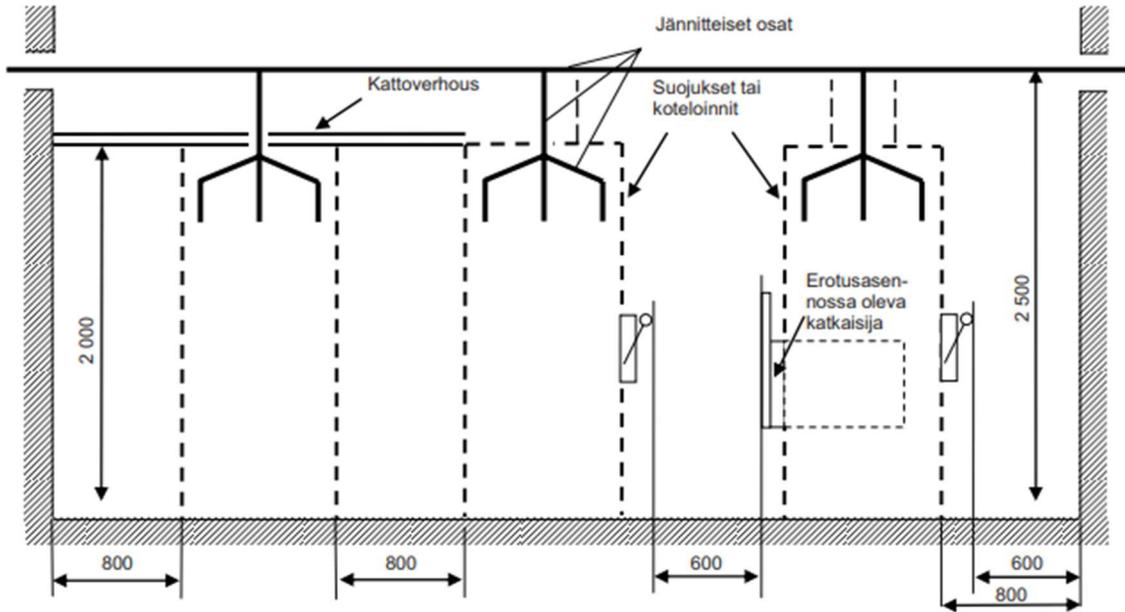
Koneellinen ilmanvaihto varustetaan automaattisella ohjauksella. Siihen voidaan käyttää huonetermostaattia, muuntajan kosketinlämpömittaria tai molempia. Puhaltimena voidaan käyttää kahden nopeuden puhallinta, jolloin toimintaa voidaan ohjata esimerkiksi siten, että muuntajan kosketinlämpömittari (70–80 °C) käynnistää pienemmän nopeuden ja huonetermostaatti (22–30 °C) tarvittaessa suuremman. Ilmanvaihtolaitteiden toimintojen hälytykset ohjataan kiinteistön hälytysjärjestelmään. (4, s.6.)

Ilmanvaihdosta aiheutuva melu tulee olla rakennusmääräysten mukaisesti riittävän alhainen. Ilmanvaihdosta aiheutuvan äänen vähentämiseksi on noudatettava seuraavaa: ilman otsapinta-nopeuden säleikössä tulee olla ≤ 2 m/s, ilmanvaihdon aiheuttama runkorakenteisiin johtuva ääni vaimennetaan riittävästi ja ilmanpaineesta avautuvia ulkosäleikköjä vältetään. (28, s. 7.)

Mekaaniset ilmanvaihtojärjestelmät on sijoitettava siten, että niiden tarkastus ja huolto voidaan suorittaa myös kojeiston ollessa käytössä (7, s. 56). Ideaalilanteessa ilmanvaihto toteutetaan niin, ettei ilmanvaihdon huollossa tarvitse ollenkaan kulkea muuntamotilaan. Tämä voidaan toteuttaa esimerkiksi ilmansuodattimien ja puhaltimien sijoittamisella välittömästi muuntamotilan ulkopuolelle, jolloin kulkua muuntamotilaan ei tarvitse järjestää.

11.6 Muuntamon laitteiston tilavaraukset

Muuntamotilan korkeuden tulee yleisesti olla 2500 mm lisättyinä tarvittavilla kanavan tai kaapelihyllyn korkeuksilla. Pienehköillä ja etenkin kosketussuojatuilla muuntajilla sekä SF₆-kaasueristeisillä suurjännitekojeistoilla voi riittää vähän pienempikin huonekorkeus. (4, s. 5.) Kuvassa 34 on esitetty huoltokäytävän minimietäisyyksiä leveydelle ja korkeudelle jännitteisiin osiin.

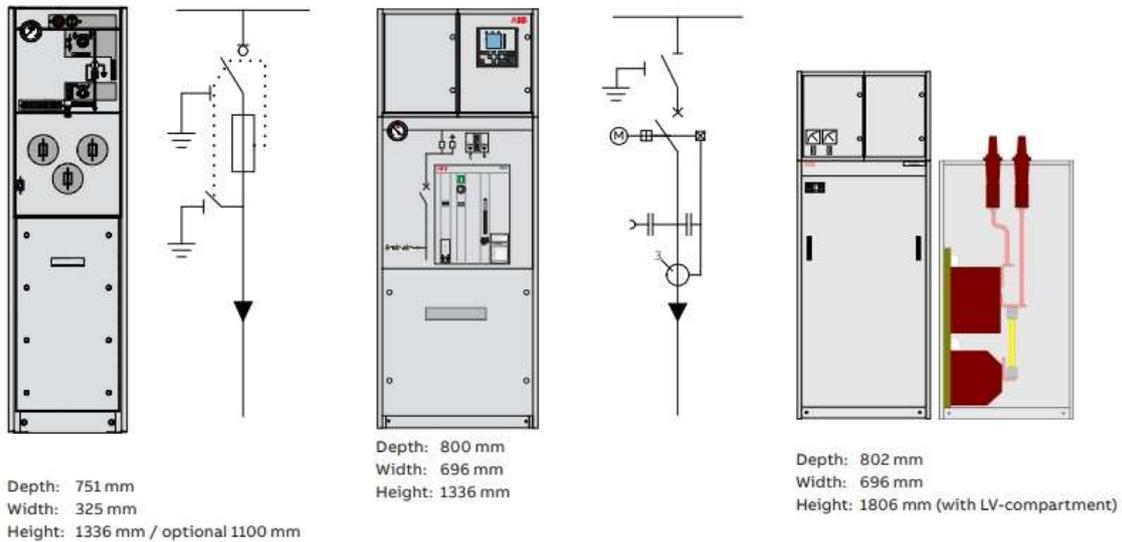


KUVA 33. Käytävät asennuksissa, joissa käytetään suojausmenetelmänä suojuksia tai kotelointia (23, s. 7).

Sähkötilassa sallitaan kuitenkin seuraava lievennys: jos jännitteisiä osia on alempana kuin 2,5 m, on osat suojattava vähintään kotelointiluokan IP2X tai IPXXB vaatimukset täyttävällä suojauksella. Esim. muuntajan suojaus voidaan toteuttaa myös suojuksella, jossa ei ole kattoa, mikäli suojauksen korkeus on vähintään 2,3 m ja jännitteisten osien etäisyys suojuksen yläreunasta on suurempi kuin 0,2 m (23, s. 6.) Käytännössä kiskosillat muuntamoissa koteloidaan ja ainoa kosketussuojaamaton paikka voi olla muuntajan keskijännitepuolen liitännä, jos kytkentää ei ole toteutettu pistokepäätteillä. Tällaisessa tilanteessa on siis asennettava standardin mukaan muuntajan ympärille väliseinä, jolla toteutetaan kosketussuojaus sähkötilassa.

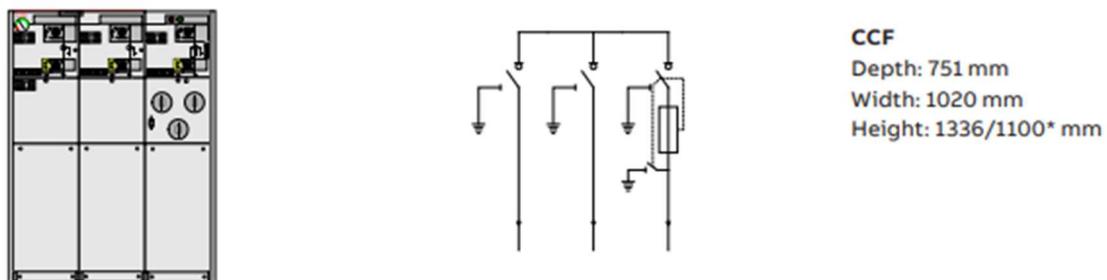
Kuvassa 35 on esitetty ABB:n kaasueristettyjen keskijännitekojeistojen moduulien kokoja. ABB:n kojeistolla keskijännitekojeiston vaatima tilavarauus voi olla esimerkiksi kuvan 2 B tyyppin muuntamossa kaikki kennot yhteenlaskettuna n. 3500 mm. Joissain tapauksissa verkonhaltijalla voi olla vaatimuksia, joissa kaapelikennon päädyistä halutaan tilavarauus sivuttaissuunnassa seinälle esi-

merkiksi 1000 mm, jolloin tarvittaessa kojeisto on laajennettavissa verkonhaltijan tarpeiden mukaan kolmannella kennolla kahden rengasverkon liityntäkennon lisäksi.



KUVA 34. ABB keskijännitekojeistojen moduulien kokoja (29, kuva muokattu).

Vastaavasti kuvan 2 yhden muuntajan muuntamossa ABB:n kojeiston koko vastaa kuvan 17 kompaktikojeistolla mittauskennon kanssa n. 1700 mm.



KUVA 35. ABB RMU keskijännitekojeisto yhden muuntajan muuntamoon (29, s. 23).

Taulukkoon 14 on koottu erään valmistajan kuiva- ja öljymuuntajien kokoja tehon mukaan. Kuivamuuntajilla koot ovat enemmän vakioita verrattuna öljymuuntajiin, joissa muuntajakoko kasvaa lineaarisesti suhteessa muuntajan tehoon. Muuntajan tilavarauksessa on otettava huomioon kosketussuojaamattomassa tapauksessa väliseinä ja sen vaatima minimietäisyys muuntajasta. Kuivamuuntajaa käytettäessä on huomioitava kuivamuuntajan korkeus, sillä tilaan on mahduttava myös muuntajalle asennettavat kaapelihyllyt tai virtakiskot ja niille on saatava vastaava asennus-tila korkeussuunnassa.

TAULUKKO 14. Schneider-Electric muuntajakoot tehon mukaan 20kV muuntajilla.

Schneider-Electric muuntajakoot	
Kuivamuuntaja Trihal	
Teho / kVA	Koko (Pituus x Leveys x Korkeus) / mm
630	1840 x 1030 x 1955
800	1840 x 1030 x 1955
1000	2090 x 1180 x 2240
1250	2090 x 1180 x 2240
1600	2090 x 1180 x 2240
Öljymuuntaja Minera	
Teho (kVA)	Koko (Pituus x Leveys x Korkeus) / mm
630	1570 x 910 x 1510
800	1556 x 978 x 1762
1000	1745 x 973 x 1635
1250	1850 x 998 x 1764
1600	1790 x 1020 x 1934

Jos muuntamo sijaitsee rakennuksen ulkoseinällä, ei muuntajan ja keskijännitekojeiston tuominen muuntamotilaan tuo haasteita. Muussa tapauksessa on huomioitava muuntajan haalausreitti jo suunnittelussa ja huomioitava sen tuomat haasteet muuntajan koon ja painon mukaan. Monissa muuntajissa on omat pyörät kuljettamista varten, mutta joissain tapauksissa voi olla tarpeen käyttää esimerkiksi hydraulisia nostimia. Reitin suunnittelussa onkin huomioitava muuntajakoon lisäksi myös kuljetuskaluston koko. Muuntajat voivat painaa useita tuhansia kilogrammoja, jolloin reitin lattiarakenteet ja kynnykset on huomioitava. Lattiarakenteiden tulee kestää muuntajan kuljetuksen aiheuttama pistekuorma, mutta on myös huomattava, että jokainen nosto reitillä aiheuttaa huomattavia ongelmia, jos kuljetinlaitteet eivät voi kulkea esteettömästi koko matkaltaan muuntamotilaan.

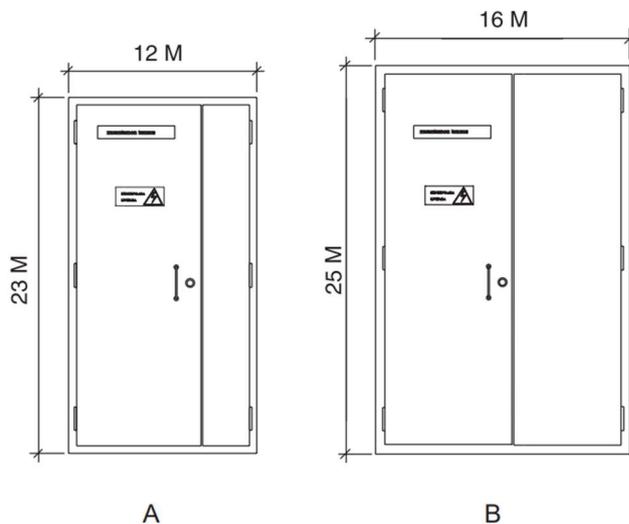
Verkkoyhtiöt voivat vaatia myös muita tilavarauksia esimerkiksi kauko-ohjauksen liikennöintilaitteille, niiden akustoille tai muille vastaaville laitteille. Helen Sähköverkko Oy:n vaatimus liikennöintilaitteille on 1200 mm seinätilaa. Vantaan Energian Sähköverkoilla tilavaraus on 600 x 800 x 250 kokoiselle kaukokäytön laitteelle sekä määritykset kaapelihyllyasennuksen tarpeille.

11.7 Muut vaatimukset

Ovien tulee avautua ulospäin. Ne on varustettava vetimillä ja kiinteällä avaimella avattavalla lukolla, jonka sarjoittamisesta tulee sopia verkonhaltijan kanssa. Vetimet tulee olla sekä ulko- että sisäpuolella. Oven ulkopuolelle tulee kiinnittää standardin SFS-EN ISO 7010 mukainen varoituskilpi, jossa on sähköiskusta varoittava kulmanuolimerkki ja teksti ”Hengenvaara – Livsfara”. Jos

ovi on kaksiosainen, toinen osa suositellaan varustettavaksi hätäsalvalla, joka tulee saada aina sisäpuolelta auki mahdollisessa vahinkotilanteessa. (4, s. 4.)

Muuntamon käyttöovi tulee varustaa aukipito-laitteella kytkentätilanteiden aiheuttamien valokaarioikosulkujen painesysäyksien lieventämiseksi. Palomääräykset edellyttävät palo-oven sulkeutuvan automaattisesti. (25, s. 7.) Oven mitoituksessa on huomioitava muuntajan koko ja sen muuntamoon siirrossa vaadittava tila. Jos esimerkiksi muuntajan asennus tapahtuu nostamalla muuntaja asennuspaikalle, tarvitaan ovella enemmän tilaa nostolaitteen kuljettaessa muuntaja muuntamotilaan. Kuvassa 37 on esitetty esimerkkimitoitukset muuntamon ovikoolle. A ovi on yleisesti käytetty malli ja B on vaihtoehtoinen malli ilmaeristeisille kojeistoille ja suurille muuntajille.



KUVA 36. Muuntamotilojen ovien mitoitus. $M=100\text{ mm}$ (11, s. 5).

Valaisimet ja muut mahdollisesti huoltoa vaativat kiinteät asennukset tulee sijoittaa siten, että huolto voidaan suorittaa sähkötyöturvallisuussääntöjä noudattaen. Valaistuskimien tulee sijaita oven vieressä. Suositeltavaa on, että astuttaessa muuntamoon osa valoista syttyy automaattisesti joko liikeilmaisimien tai ovikytkimen avulla. (4, s. 4.)

Kosketussuojamattomalle muuntajalle pitää sähkötilassa asentaa levy- tai verkkorakenteinen vähintään 2300 mm korkea suojaseinä. Kosketussuojauksen tulee olla IP XXB, jossa B on suojattu sormella koskettamiselta. Koepallo, jonka halkaisija on 12 mm ei saa mennä verkon läpi ja etäisyys jännitteisiin osiin verkon etuseinästä tulee olla $100\text{ mm} + N$, jossa N on 24 kV jännitteellä 220 mm. Käytännössä siis verkon ja jännitteisen osan välillä on oltava vähintään 320 mm etäisyyttä. (30, s. 24.)

Öljymuuntajaa käytettäessä on muuntajaviassa aiheutuva öljyvuoto muihin tiloihin estettävä. Tämä voidaan toteuttaa esimerkiksi öljynkeruualtaalla, joka on riittävän suuri muuntajan kokoluokalla olevalle öljymäärälle. Keruualtaassa on myös huomioitava vesisammutusjärjestelmästä tuleva vesimäärä sellaisissa kohteissa, joissa tällaista sammutusjärjestelmää käytetään. Ulkotiloissa muuntajan keruualtaassa tulisi huomioida myös sade- ja sulamisvedet, mutta sisätiloihin sijoitetuilla öljymuuntajilla ei yleensä tällaista ongelmaa ole.

Muuntamon pinnat tulisi käsitellä siten, ettei niistä irtoa pölyä. Pintakäsittelyohjeena voidaan käyttää esimerkiksi seuraavaa luokittelua:

Lattia:

- Rasitusluokka 3 (RL3)
- Ulkonäköluokka P3
- Lattiapinnan alapuolella oleva kaapelitila tai öljytila ei tarvitse pintakäsittelyä

Seinä ja katto:

- Rasitusluokka 2 (RL2)
- Ulkonäköluokka P3

RL2 tarkoittaa tavanomaisia rasituksia ja vaatimuksia kuivissa sisätiloissa. Pintojen tulee kestää pyyhkimistä.

RL3 tarkoittaa suuria rasituksia kuivissa sisätiloissa, kuten porrashuoneissa tms. Pinnan tulee kestää pesua.

P3 tarkoittaa pinnan sileydellä olevan tavanomaista vähäisempi merkitys.

(28, s. 7.)

Katon lämmöneristyksessä tulee huomioida mahdollisuus, että muuntamotilan lämpötilan voi pudota alle 0 °C:een. Katon kosteudeneristyksellä pyritään estämään haitallisen kondenssiveden muodostuminen. Seinän lämmöneristys tulisi tehdä lämpimän tilan suuntaan (11, s. 5).

Kosteuseristys on tehtävä erittäin huolellisesti. Muuntamon lattian alle tulee tarvittaessa rakentaa salaojat etenkin silloin, kun kaapelikanavan pohja on alempana kuin rakennuksen muu lattiataso.

(31, s. 6.)

12 MUUNTAMON SÄHKÖSUUNNITTELU TARKISTUSLISTA

Opinnäytetyön yhteydessä on tuotettu muuntamon sähkösuunnittelua avustavaksi työkaluksi ”Muuntamosuunnittelun tarkistuslista” -dokumentti. Lista käsittää kohta kohdalta muuntamon sähkösuunnittelun vaiheet projektin etenemisen mukaan ja esittää tarvittavat suunnitelmat, jotka sähkösuunnittelijan on toimitettava verkonhaltijalle keskijänniteliityntää varten. Tarkistuslistan tarkoitus on työkaluna ohjata uutta suunnittelijaa muuntamosuunnittelun aihepiireihin projektin etenemisen mukaan ja huomioimaan kohdat, jotka tulisi tarkistaa muuntamoa suunnitellessa, mutta myös nimensä mukaisesti auttaa vanhempia suunnittelijoita käymään läpi muuntamosuunnitelmansa.

Kuvassa 39 on esimerkki tarkistuslistasta. Tarkistuslistassa on hajautettu osakokonaisuudet, joiden alle on kerätty kohta kerrallaan tiettyyn aihealueeseen liittyen tarvittavat ja tarkistettavat tiedot, jotka suunnitelmissa on otettava huomioon niin varsinaisessa sähkösuunnittelussa, kuin myös yhteistyössä muiden suunnittelualojen kanssa.

Rakenteellinen ohjeistus	Liite
Ovikoot	Liite 3.1
Ilmanvaihtokanavien koot	Liite 3.2
Asennuslattian ja sen kantavuustarve (vrt. Muuntajan, kojeiston, pääkeskuksen paino)	Liite 3.3
Palo-osastointi	Liite 3.4
Kaapelireitti (Reikävaraukset, rakenteelliset ohjeet, kaapeliläpivientien paloeristys)	
Tilatarve (koko, korkeus, asennuslattia)	

KUVA 39. Esimerkki muuntamon tarkistuslistasta

Jokaisessa kohdassa on myös liite, joka on linkitetty Excel hyperlink -työkalulla kohtaa vastaavaan suunnitelman esimerkkiin. Linkkiä painamalla suunnittelija näkee suoraan suunnitelmapohjien kohdat ja esimerkit, jotka tulisi tarkistaa. Suunnitelmien esimerkit ovat Elvak Oy:n tekemistä aikaisemmista suunnittelukohteista, jolloin liitteiden kohtia voidaan sellaisenaan verrata suoraan Elvak Oy:n tekemien pohjien päälle.

Koska tarkistuslista ja suunnitelmapohjat ovat Elvak Oy:n sisäisiä dokumentteja, ei niitä esitetä liitteinä tässä opinnäytetyössä.

13 POHDINTA

Opinnäytetyön aihe oli laajuudeltaan yllättävän suuri. Tässä työssä on pyritty pysymään suunnittelun näkökulman rajoissa, mutta aiheesta olisi selvästi tarpeeksi materiaalia suurempaankin kirjallisuuteen, jos kaikki järjestelmät haluttaisiin käydä yksityiskohtaisesti läpi muuntamoon liittyen. Muuntamosuunnittelussa on varmasti vielä paljon sellaisia aihepiirejä, joita olisi tässäkin työssä voinut käydä läpi, mutta aihealueen laajuuden kannalta opinnäytetyö haluttiin pitää suhteellisen suppeana. Jälkeenpäin ajatellen työssä olisi auttanut pidempi käytännön kokemus muuntamon suunnittelusta, jolloin opinnäytetyössä olisi voinut ottaa laajemmin kantaa sellaisiin suunnitelmallisiin epäkohtiin, joita kiinteistöjen rakennusvaiheissa nousee esille.

Tarkistuslistan suunnittelussa vanhemmat suunnittelijat ovat olleet suurena apuna käytännön toteutus huomioon ottaen. Tarkistuslista toimii ehkä parhaiten jatkokehittämisen kautta, jolloin sellaiset epäloogisuudet ja yksityiskohdat, jotka projekteissa nousevat esille, tuotaisiin tarkistuslistaan. Tarkistuslista johdattelee itsessään projektin vaiheisiin, jolloin kokonaiskuva muuntamon suunnitelman etenemisestä ehkä selkeytyy paremmin kuin pelkästä kirjallisuudesta luettuna.

Tässä työssä jätettiin myös pois paljon sähköteknillistä teoriaa. Lähtökohtana oli, että työ esittää sellaiset mitoitukselliset yksityiskohdat, jotka sähkösuunnittelun kannalta voi tulla vastaan ja joita erillinen kirjallisuus täydentää. Laskennallinen teoria on pitkälti olemassa olevasta kirjallisuudesta ja mitä suunnittelukorteissa ja ohjeistoissa on mainittu. Teoreettista tarkastelua tai käytännön esimerkkiä ei näistä laskennoista ole tässä työssä tehty. Näiltä osin työssä on luotettu siihen, mitä kirjallisuudessa on esitetty.

Työssä on pyritty esittämään kokonaisuudessaan se, mitä muuntamon sähkösuunnittelussa tulee huomioida. Suunnitelmissa on huomioitava laitevalmistajien asennusohjeet, verkkoyhtiöiden vaatimukset, muuntamoon liittyvät määräykset ja muiden rakennusalojen ohjeistukset. Työssä on esitetty sähkösuunnittelijalta vaaditut dokumentit ja havainnollistettu dokumenttien sisältöä. Opinnäytetyön laadinta kasvatti omaa ammatillista osaamistani ja lisäsi arvostusta hyvää sähkösuunnittelua kohtaan. Toivon tämän tekstin auttavan jatkossa muita uusia sähkösuunnittelijoita, jotka hakevat muuntamoihin liittyvää tietoa.

LÄHTEET

1. Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry 2017. Sähköasennukset 3. 4. uudistettu painos. Helsinki: Painokurki.
2. Korpinen, Leena 1998. Sähkövoimatekniikkaopus: 3. Verkkodokumentti. Hakupäivä 05.06.2022. <http://leenakorpinen.com/fi/julkaisut/opetusaineistoja/>
3. Elovaara, Jarmo & Haarla, Liisa 2011. Sähköverkot II. Verkon suunnittelu, järjestelmät ja laitteet. Helsinki: Otatieto
4. ST53.11 2018. Kuluttajamuuntamot. Sähkötieto ry.
5. Teollisuus ja energia. UM-24L puistomuuntamo. UTU Tuotekatalogi.
6. Hietalahti, Lauri 2011. Muuntajat ja sähkökoneet. 1.painos. Vantaa: Hansaprint Oy.
7. SFS 6001 2018. Suurjännitesähköasennukset. Helsinki: Suomen standardoimisliitto SFS ry.
8. Schneider-Electric. Medium Voltage distribution. Product panorama 2022.
9. Pöyhönen, Otso 1975. Sähkötönnikän käsikirja 1. 4. uusittu painos. Helsinki: Tammi.
10. Schneider-Electric. Minera Assembly Drawing, Plan d'encombrement conforme. 1250 kVA AOBk Ecodesign.
11. RT 92-10774 2002. Muuntamotila rakennuksessa. Rakennustietokortti. Helsinki: Rakennustieto Oy.
12. Aura, Lauri & Tonteri, Antti 1985. Sähkökoneet. Porvoo: WSOY:n graafiset laitokset.
13. Eurolaite. Valuhartsimuuntajat, EL.PI.CAST-RESIN. Tuotekatalogi.
14. Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry 2014. Maadoituskirja. 6. uudistettu painos. Helsinki: Painokurki.
15. ABB Oy 2000. TTT-käsikirja. Helsinki: ABB Oy.
16. Prysmian Group. Keskiännitekaapeleiden kylmäkutistevarusteet. Tuotekatalogi.
17. Helen Sähköverkko Oy 2020. Keskiänniteliihtyjän muuntamot. Verkkodokumentti. Hakupäivä 05.06.2022. <https://www.helensahkoverkko.fi/palvelut/ohjeet>
18. SFS-käsikirja 640 2016. Sähkökeskukset. Helsinki: Suomen standardoimisliitto SFS ry.
19. Prysmian Group. Energia-, teollisuus- ja talonrakennuskaapelit. Tuotekatalogi.
20. RK 1:16. Maakaapeliverkon rakentamisen vaatimukset 0,4-45kV. Verkostosuositus Adato Oy.
21. Lapp Connecto. Jakelukiskojärjestelmät, virransyöttö- ja ohjauslaitteet. Tuotekatalogi.
22. Nokia Kaapeli. 1 kV kaapelijärjestelmät.
23. SFS 6000. Pienjännitesähköasennukset. Helsinki: Suomen standardoimisliitto SFS ry.

24. Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry 2018. RIL 195-1-2018, Rakenteellinen paloturvallisuus, Yleiset perusteet ja ohjeet. Grano Oy.
25. RM 7:98. Valokaarioikosulun painevaikutus muuntamossa. Verkostosuositus Adato Oy.
26. RT 38606. ATK-konesalien kokonaisratkaisut. AET flexible Space-järjestelmät, asennuslattiat, korokelattiat. Tuotetieto Oy Atlas Environment Ab.
27. PSK 2002. Sähkötilat enintään 1000 V. PSK Standardisointiyhdistys ry.
28. RM 2:02. Muuntamotila rakennuksessa. Verkostosuositus Adato Oy.
29. ABB Oy. SafeRing/SafePlus 12-24kV, Gas-insulated ring main unit SafeRing and Compact switchgear SafePlus. Tuotekatalogi.
30. RM 3:16. Kaapeliliitännäinen verkonhaltijan muuntamo. Verkostosuositus Adato Oy.
31. Vantaan energia sähköverkot 2021. Verkonhaltijan muuntamotilan suunnittelu ja rakentaminen.