



Eemil Rantala

Muuntamon suunnittelu nykyiseen rakennukseen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikka

Insinöörityö

30.11.2023

Tiivistelmä

Tekijä: Eemil Rantala
Otsikko: Muuntamon suunnittelu nykyiseen rakennukseen
Sivumäärä: 27 sivua
Aika: 30.11.2023

Tutkinto: Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma: Sähkö- ja automaatiotekniikka
Ammatillinen pääaine: Sähkövoimatekniikka
Ohjaajat: Lehtori Juha Kallunki
Toimitusjohtaja Hannu Lehtinen

Tämä insinöörityö on tehty HL-Elec Oy:lle. Insinöörityön tavoitteena oli perehtyä sähkösuunnittelijan kannalta rakennukseen sijoitetun muuntamon suunnitteluun. Sähkösuunnittelijan on tunnettava ja tiedettävä kiinteistömuuntamoa koskevat määräykset, standardit ja ohjeet. Suunnittelutyössä on huomioitava kaikki nämä määräykset. Sähkösuunnittelijan tehtäviin kuuluu myös kiinteistömuuntamon tarvittavien tilavarausten tekeminen.

Insinöörityössä käsitellään muuntajan, keskijännitekojeiston sekä pienjännitelaitteiston vaatimat tilavaraukset sähkönkäyttäjän kiinteistömuuntamossa. Kiinteistömuuntamoon liittyy keskeisesti palotekniset- ja rakenteelliset vaatimukset, joten työssä käsitellään olennaisilta osin myös niitä. Työn esimerkkikohde on Fazer Leipomot Oy:n Lahden leipomon kiinteistömuuntamon suunnittelu tehtaan nykyisiin varastotiloihin.

Insinöörityö toimi tekijänsä perehdyttäjänä kiinteistömuuntamon suunnitteluun. Insinöörityötä voi hyödyntää kiinteistömuuntamon sähkösuunnittelun tukena sekä oppaana, josta voi hakea kiinteistömuuntamoon liittyvää tietoa. Jos työtä käytetään oppaana, on syytä huomioida, että määräykset saattavat muuttua ajan myötä. Kiinteistömuuntamon suunnittelu tulee tehdä ajantasaisten määräysten, standardien ja ohjeiden pohjalta.

Avainsanat: kiinteistömuuntamo, muuntaja, tilavaraus

Tämän opinnäytetyön alkuperä on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

Abstract

Author: Eemil Rantala
Title: Transformer Substation Design in an Existing Building
Number of Pages: 27 pages
Date: 30 November 2023

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Electrical and Automation Engineering
Professional Major: Electrical Power Engineering
Supervisors: Juha Kallunki, Senior Lecturer
Hannu Lehtinen, Chief Executive Officer

This Bachelor's Thesis work was carried out for HL-Elec Oy. Purpose of the work was to clarify the design of an indoor transformer substation from the perspective of an electrical designer. The electrical designer must be aware of the regulations, standards, and recommendations related to indoor transformer substation. All these regulations must be taken into account in the design work. The electrical designer must also make space reservations for the indoor transformer substation.

The thesis addresses the space reservations for the transformer, medium voltage switchgear, and low voltage equipment in the indoor transformer substation. Fire safety and structural requirements are also important issues related to building transformer substations, and are therefore discussed in the thesis. The case study of the thesis is the design of a building transformer substation for Fazer Leipomo Oy's bakery in Lahti. The indoor transformer substation is designed in the factory's existing storage facilities.

As result, this thesis work clarified the design of indoor transformer substations. This thesis can be utilized as support and as a guide for indoor transformer substation electrical design. If the thesis is used as a guide, it is important to notice that regulations may change over time. The design of indoor transformer substations should be based on up-to-date regulations, standards, and guidelines.

Keywords: Indoor Transformer Substation, Transformer, Space Reservation

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Teollisuuden sähkönjakelu	1
3	Kiinteistömuuntamon tilakohtaiset ohjeet, vaatimukset ja tilavaraukset	4
3.1	Rakenteelliset ja mitoitus tekniset ohjeet ja vaatimukset	5
3.2	Palotekniset ohjeet ja vaatimukset	6
3.3	Muuntaja	8
3.4	Keskijännitekojeisto	13
3.5	Maadoitus	14
3.6	Pienjännitetilavaraukset	16
3.7	Ilmanvaihto	18
4	Esimerkkikohte Fazer Leipomot Oy	22
4.1	Kohteen esittely	22
4.2	Muuntamon lisääminen kiinteistöön	22
5	Yhteenveto	25
	Lähteet	26

1 Johdanto

Tämä insinööri työ on tehty HL-Elec Oy:lle. HL-Elec Oy on sähköinsinööritöimistö, joka on perustettu Lahdessa vuonna 2005. Yritys tarjoaa asiakkailleen sähkösuunnittelua, sähkötöiden valvontaa sekä käytönjohtaja- ja asiantuntijapalvelua. [1.]

Työn tavoitteena on toimia tekijänsä perehdyttäjänä kiinteistömuuntamon suunnitteluun sekä valmistuessaan oppaana, josta voi hakea kootusti tietoa. Insinööri työnsä tarkoituksena on tutkia ja perehtyä huomioitaviin asioihin, kun suunnitellaan kiinteistömuuntamoa olemassa olevaan rakennukseen.

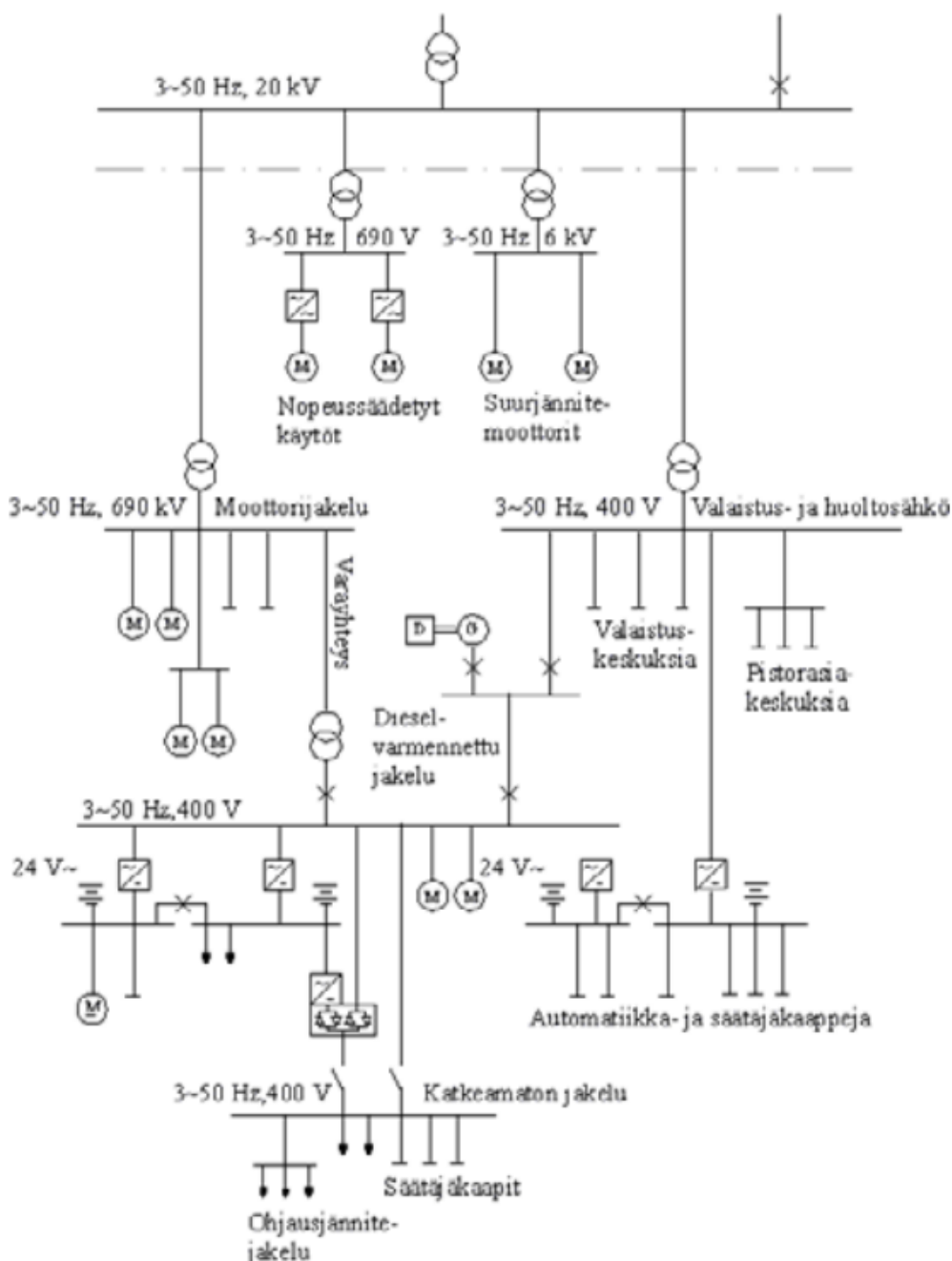
Uusien muuntamoiden suunnittelu on pääosin selkeää, mutta uuden muuntamon suunnittelu olemassa olevaan rakennukseen voi tuottaa haasteita. Sellaisissa projekteissa, joissa nykyiseen rakennukseen rakennetaan kokonaan uusi kiinteistömuuntamo, korostuu suunnittelun merkitys. Suunnittelussa on tärkeää osata tehdä riittävät, mutta samalla myös mahdollisimman pienet tilavaraukset suhteutettuna käytettävissä olevaan tilaan.

Muuntamoiden ja erityisesti kiinteistömuuntamoiden suunnittelu vaatii paljon harkintaa, asiantuntemusta ja kokemusta. Muuntamoihin liittyy myös monia teknisiä näkökohtia sekä turvallisuus- ja ympäristönäkökohtia. Työssä käsitellään yleisesti kiinteistömuuntamoita sekä niiden laitteistoja, tilakohtaisia vaatimuksia ja tilavarauksia. Työssä on esitetty esimerkkikohde, joka on Fazer Leipomot Oy:n Lahden leipomon kiinteistömuuntamon suunnittelu tehtaan nykyisiin varastotiloihin.

2 Teollisuuden sähkönjakelu

Suomessa teollisuuden sähkönkulutus vuonna 2021 oli 39 TWh ja samana vuonna Suomen kokonaiskulutus oli noin 87 TWh [2; 3]. Tämä tarkoittaa, että Suomen sähkönkulutuksesta noin 45 % kulutetaan teollisuudessa. Teollisuuslaitoksissa on runsaasti laitteita, joiden toiminta perustuu sähköenergian käyttöön.

Olennainen edellytys teollisuuslaitoksen toiminnan kannalta on toimiva sähkönjakelujärjestelmä. Teollisuuslaitokset liittyvät tyypillisesti yleiseen sähköverkkoon 110 kV:n, 20 kV:n, 10 kV:n tai 0,4 kV:n jännitetasossa. Kun sähköverkon liittymispisteen syöttöjännite on korkea, lasketaan jännite muuntajilla sopivaan tasoon tehdasjakelua varten. Teollisuuslaitoksen tehdasjakelun jännitetaso voi olla esimerkiksi 20 kV, 10 kV, 6 kV tai 3 kV. [4, s. 6.] Teollisuusverkko voi olla myös useassa eri tasossa, kuten kuvassa 1.



Kuva 1. Esimerkki teollisuusverkon rakenteesta [5, s. 11].

Kuvasta 1 nähdään, että teollisuusverkossa on erilaisia käyttäjälajitelmia, muun muassa prosessijakelua, kiinteistösähköverkkoa sekä apusähköjärjestelmiä. Teollisuusverkossa tehonkulutus on keskittynyt pienelle maantieteelliselle alueelle sekä verkossa on lyhyet jakeluetäisyydet verrattuna jakeluverkon rakenteeseen. [4, s. 6.]

Teollisuuslaitoksissa käytetään tyypillisesti säteittäistä sähköjakeluverkkoa. Säteittäisellä jakelulla saadaan sähköverkon oikosulkuvirrat pienemmiksi, jolloin suojaus on helpompi toteuttaa. Jos jakeluverkolle halutaan toimintavarmuutta, voidaan käyttää silmukoitua rakennetta ja kaksoiskiskostoilla varustettuja keskuksia. [4, s. 6.]

Teollisuuslaitoksissa sähkötehon tarpeet vaihtelevat ja saattavat lisääntyä merkittävästi esimerkiksi uusien sähkölaitteiden myötä. Jos sähkötehotarve lisääntyy ja ylittää käytössä olevista muuntamoista saatavan tehon, täytyy sähköverkkoa vahvistaa uudella muuntamolla. Suunniteltaessa teollisuuslaitoksen sähköverkkoa tulisi tarkastella verkon käyttöturvallisuutta, käytettävyyttä, taloudellisuutta, laajennettavuutta ja muunneltavuutta sekä tuotantoprosessien mahdollisia muutoksia [4, s. 8].

Keskijänniteliittymän myötä kiinteistön sähkölaitteisto kuuluu sähköturvallisuuslain [6] 1135/2016 pykälän 44 mukaan luokkaan 2c. Sähköturvallisuuslaki edellyttää, että luokan 2 ja 3 sähkölaitteistoilla tulee olla käyttötöitä varten käytön johtaja ja sähköturvallisuuden ylläpitävä kunnossapito-ohjelma. Lisäksi laitteistolle on tehtävä määräaikaistarkastus kymmenen vuoden välein. Sähkölaitteiston merkittäväälle muutos- ja laajennustyölle on tehtävä käyttöönottotarkastuksen lisäksi varmennustarkastus. [6, s. 14.]

3 Kiinteistömuuntamon tilakohtaiset ohjeet, vaatimukset ja tilavaraukset

Kiinteistömuuntamo ja rakennukseen sijoitettu muuntamo ovat yleisnimityksiä muuntamoille, jotka sijaitsevat teollisuus-, liike-, tai asuinrakennukseen tehdyssä muuntamotilassa. Kiinteistömuuntamoihin tuleva sähköverkko on tyypillisesti keskijännitteen tasossa. Luvussa esitetään keskeisiä kiinteistömuuntamon suunnittelussa huomioitavia asioita sekä tilavarauksia. Kiinteistömuuntamot jaetaan kahteen luokkaan, sähkönkäyttäjän ja verkonhaltijan muuntamoihin. Näiden kahden muuntamotyypin vaatimukset eivät olennaisesti poikkea toisistaan. Tässä insinööriyössä keskitytään enemmän sähkönkäyttäjän muuntamoihin.

Sähkö- ja rakennusteknisten ohjeiden, vaatimusten ja määräysten kannalta rakennukseen sijoitetun muuntamon suunnittelussa on enemmän huomioitavia asioita verrattuna muihin muuntamotyyppeihin. Kiinteistömuuntamon tilatarpeet tulee huomioida hankkeen alusta alkaen kaikissa suunnitteluvaiheissa. Tämän luvun lisäksi on otettava huomioon verkonhaltijoiden mahdolliset omat ohjeet muuntamoihin ja niiden suunnitteluun liittyen.

Muuntamon sijainti rakennuksessa tulisi olla sellaisella paikalla, johon muuntajan kuljetus ja mahdollinen muuntajan vaihto olisi helposti tehtävissä. Myös ilmanvaihdon ja kaapelireittien toteutusmahdollisuus täytyy huomioida. Lisäksi tapauskohtaisesti täytyy selvittää, aiheutuuko muuntamosta häiritsevää melua ja magneettikenttiä. Yleensä muuntamo on helpoiten toteutettavissa sellaiseen tilaan, joka on maantasolla ja jossa käynti tilaan on suoraan ulkoa.

Edellä lueteltujen huomioiden lisäksi ratkaisevia asioita kiinteistömuuntamon suunnittelussa ovat:

- muuntajien lukumäärä ja tyyppi
- verkonhaltijan vai sähkön ostajan muuntamo
- ilmaeristeinen kojeisto vai SF₆-kojeisto
- palotekniset vaatimukset [7, s. 15].

3.1 Rakenteelliset ja mitoitus tekniset ohjeet ja vaatimukset

Standardissa SFS 6001:2018 [8, s. 58–59] on esitetty suurjännitelaitteistojen rakenteellisia vaatimuksia. Muuntamo- ja kojeistotilan lattioiden, kattojen ja seinien mekaanisen lujuuden on kestävä kaikki odotettavissa olevat sekä laitteiston normaalikäytöstä aiheutuvat staattiset ja dynaamiset kuormitukset [8, s. 58–59].

Muuntamotilaan on yleensä voitava rakentaa lattiapinnan alapuolelle kaapelikanavat. Kaapelikanavien kannet on kiinnitettävä huolellisesti, koska valokaari-paine aiheuttaa lattiaa nostavan voiman [9, s. 8]. Mikäli valokaarivian aiheuttaman paineen purkuun käytetään kojeistotilan sisäkattoa tai erillisiä luokkuja, on niiden oltava sopivalla tavalla muihin rakenteisiin kiinnitetty, jotta valokaari-paineen purkautuessa turvallisuudelle ja omaisuudelle aiheutuvat vahingot saadaan minimoitua. Kojeston tyyppi ja oikosulkuvirta määräävät paineenpurkaukkojen mitoituksen. [8, s. 58–59.]

Muuntajatilán ovista pitää olla mahdollista poistua ulkopuolelle ilman avainta [10, s. 593]. Kaksiosaisen oven toinen osa suositellaan varustettavaksi hätäsalvalla. Oven tulee avautua ulospäin ja niissä on oltava vetimet sekä ulko-että sisäpuolella. Ovissa tulee olla kiinteällä avaimella avattava lukko. Tilán ovessa pitää olla tunnuskilpi sekä standardin SFS-EN ISO 7010 mukainen varoituskilpi. Ovi pitää pystyä lukitsemaan auki-asentoon. [9, s. 4.]

Muuntamotilat on mitoitettava riittävän suuriksi työn suorittamista, kojeiston käyttöä ja laitteiden kuljetusta varten. Muuntajaan pitää päästä käsiksi joka puolelta tarvittavien huoltotoimenpiteiden vuoksi. Muuntajatilóissa pitää pystyä tekemään valaisimien huoltoa ja muuntajan valvontatoimenpiteitä muuntajan ollessa jännitteinen. Muuntajan edessä on oltava vähintään 800 mm:n levyinen hoitokäytävä. Muuntajan rikkoutuessa on oltava mahdollista tehdä muuntajan vaihto rakenteita muuttamatta. [11, s. 2.] Poistumistien leveyden on aina oltava vähintään 0,5 m, myös silloin, kun ulosvedetyt osat tai avonaiset ovet kaventavat poistumisteitä. Kiinteäseinäisten koteloitujen laitteistojen takana olevien huoltamiseen tarkoitettujen käytävien tulee olla vähintään 0,5 m leveitä. [8, s. 59.]

Muuntamotilan vapaan korkeuden tulee yleisesti olla 2500 mm. Tarvittavat kanavat, kaapelihyllyt ja vastaavat asennetaan 2500 mm:n yläpuolelle. Pienitehoisilla ja kosketussuojatuilla muuntajilla sekä SF₆-eristeisillä keskijännitekojeistoilla voidaan huonekorkeus saada matalammaksi. Muuntamon hoitotilojen ja poistumisteiden vapaan korkeuden on kuitenkin oltava vähintään 2100 mm. [9, s. 5.]

3.2 Palotekniset ohjeet ja vaatimukset

Paloteknisiin vaatimuksiin vaikuttaa olennaisesti kiinteistömuuntamon muuntajatyypin. Vaatimustaso määräytyy pitkälti muuntamon rakenteiden ja muuntamossa olevien palavien aineiden määrän perusteella. Taulukossa 1 esitetään muuntajatyypin vaikutus suojaustoimenpiteisiin.

Taulukko 1. Rakennukseen sijoitettujen muuntajien suojausvaatimuksia [8, s. 75].

Muuntajatyypit	Luokka	Suojaustoimenpiteet
Öljyeristeiset muuntajat (O)	Nestemäärä	
	<200 l	EI 60
	200 ... 1000 l	EI 120 tai EI 60 ja automaattinen sammutuslaitteisto
	>1000 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
Kuivamuuntaja (A)	Paloluokka	
	F0	EI 60
	F1	Pintojen on täytettävä luokan B-s1, d0 vaatimukset
HUOM! Jos rakenteet ovat kantavia, niiden pitää täyttää sama aikavaatimus myös kantavuuden suhteen.		

Taulukossa 1 esitetään eri muuntajatyypin ja -luokkien vaatimat suojaustoimenpiteet. Taulukko pätee myös teollisuusrakennuksiin sijoitettaviin muuntajiin. Taulukosta voidaan päätellä, että öljyeristeisen muuntajan nestemäärä vaikuttaa olennaisesti suojauksen vähimmäisvaatimukseen.

Kuivamuuntajaa käytettäessä muuntajan paloluokka määrää vaadittavat suojaustoimenpiteet. Mikäli kuivamuuntaja sijoitetaan teollisuusrakennukseen, valitaan rakennuksen toimintojen ja ympäröivien materiaalien perusteella muuntajan paloluokka. Riippumatta muuntajien tyypistä, tulee palon varalta ryhtyä lisävarotoimenpiteisiin, jos teollisuusrakennuksen toiminnot ja käyttö niitä edellyttävät. Muuntajan paloluokan ollessa F0 suositellaan kohteeseen sammutusvälineistöä. [8, s. 75.] Taulukosta 2 nähdään muuntajan eristetyypin ja rakennuksen kerrosten lukumäärän vaikutus palovaatimukseen.

Taulukko 2. Kantavien ja osastoivien rakennusosien luokkavaatimukset O1-eristysnestettä sisältävän muuntajan sekä F0- kuivaeristeisen muuntajan tai kojeiston huonetilalle [12, s. 2].

Kerroksien lukumäärä	O1 luokan eristysnestettä sisältävän muuntajan tila		F0 luokan kuivamuuntaja- tai kojeistotila	
	Kantavien rakennusosien vaatimukset	Osastoivien rakennusosien vaatimukset	Kantavien rakennusosien vaatimukset	Osastoivien rakennusosien vaatimukset
Enintään 2	R 120	EI 120	R 60	EI 60
3...8 tai 1. kellaritaso	R 180	EI 120	R 60	EI 60
Yli 8 tai 1. kerroksen alapuolella	R 240	EI 120	R 120	EI 120

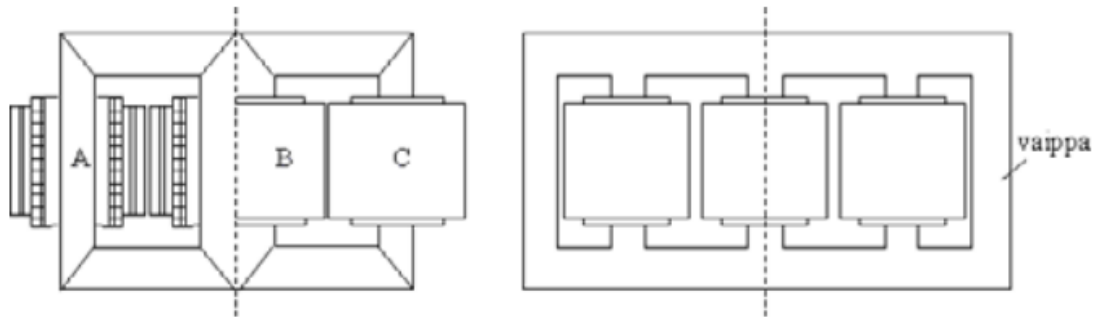
Taulukon 2 arvot soveltuvat muuntajille, joiden teho on enintään 1600 kVA. Jos rakennukseen tulee useita muuntajia, tulee jokaisella yli 1000 kVA:n muuntajalla olla oma palo-osastointi. [12, s. 2.] Jos erillisiin muuntamotiloihin sijoitetaan useita muuntajia, on varmistuttava siitä, että yli 200 litraa nestettä sisältävä O1-luokan muuntajan palo ei sytytä toista muuntajaa. Muille neste-eristeisille

muuntajille ei vaadita palosuojauksen suhteen muita erityistoimenpiteitä. Ympäristövahinkojen ehkäisemiseksi on kuitenkin varauduttava neste-eristeisillä muuntajilla vuotojen talteenottoon. Nesteiden talteenotto voidaan toteuttaa erityisellä keräilyaltaalla tai käyttämällä nesteitä läpäisemättömiä lattiaita ja kynnyksiä. Kynnyksen korkeuden ja keräilyaltaan laajuuden määrittelee muuntajan eristysnesteiden litramäärä sekä mahdollisesta palonsammutusjärjestelmästä purkautuvan veden määrä. [8, s. 75.]

Sisällä sijaitsevien muuntamoiden ovien palonkestävyyden on oltava vähintään 60 minuuttia. Mikäli ovi aukeaa suoraan ulos, standardin SFS 6001 [8, s. 75] vähimmäisvaatimus on, että ovet eivät saa olla palonarkaa materiaalia. Muuntamon toiminnan kannalta tarpeelliset tuuletusaukot ovat sallittuja tietyissä paikoissa. Tuuletusaukkojen suunnittelussa on otettava huomioon mahdollinen kuumien palokaasujen ulosvirtaus. Palo-osaston läpi menevät putket, kanavat, roilot ja kaapelit sekä muut läpiviennit eivät saa olennaisesti heikentää rakennusosan osastoivuutta. [9, s. 4.]

3.3 Muuntaja

Muuntaja on olennainen osa sähkön siirrossa, jakelussa ja käytössä. Muuntaja on staattinen laite, jolla muutetaan jännitettä, esimerkiksi keskijännite 20 kV pienjännitteeksi 400 V. Kuvassa 2 on esitetty rakenteeltaan kaksi erilaista muuntajaa, jotka ovat sydänmuuntaja ja vaippamuuntaja. Sydänmuuntajat ovat yleisempiä johtuen yksinkertaisemmasta ja edullisemmasta rakenteesta. Molemmat muuntajat ovat periaatteiltaan samanlaiset ja molemmissa muuntajissa aktiiviset osat ovat rautasydän ja siihen kierretyt käämit. Rautasydän koostuu pylväistä ja pylväitä yhdistävistä ikeistä. Käämit on sijoitettu pylväiden ympärille sylinterimäisesti. Käämejä kutsutaan yläjännite- ja alajännitekäämeiksi sekä ensiö- ja toisiökäämeiksi. Käämitykset tehdään kuparista tai alumiinista. Rautasydän ja käämit suorittavat muuntajan varsinaisen tehtävän. [13, s. 2.]



Kuva 2. Vasemmalla kolmivaiheinen sydänmuuntaja ja oikealla kolmivaiheinen vaippamuuntaja [13, s. 3].

Kolmivaiheisessa sydänmuuntajassa on jokaisella vaiheella oma pylväs. Jokaisessa pylväessä on kyseisen vaiheen ensiö- ja toisiokäämit. Sijoittamalla ensiö- ja toisiokäämit samalle pylväälle saadaan vähennettyä hajavuota ja hajareaktanssia. Kolmivaiheisen vaippamuuntajan ero sydänmuuntajaan on, että vaippamuuntajassa on yhteensä viisi pylvästä. Ulkoreunoille lisättyjen pylväiden ansiosta muuntajan hajavuo pienenee. [13, s. 2.]

Kolmivaihemuuntajien vaihekäämit voidaan kytkeä eri tavoin, joko tähtikytkentään, kolmiokytkentään tai hakatähtikytkentään. Ensiö- ja toisiokäämityksessä voidaan käyttää tähti- ja kolmiokytkentää, mutta hakatähtikytkentää voidaan käyttää vain toisiokäämityksessä. [13, s. 12.] Kuvasta 3 nähdään, että muuntajien kytkentäryhmät jaetaan tunnuslukujen 0, 5, 6 ja 11 perusteella neljään eri kytkentäryhmään. Tämä tunnusluku kuvaa kytkennästä aiheutuvaa vaihesiirtoa. Esimerkiksi kytkentäryhmän 11 muuntajan toisiojännite on 30 astetta edellä ensiojännitettä.

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

Kuva 3. Kolmivaihemuuntajien standardoidut kytkennät. Kuvassa rajatut kytkennät ovat Suomessa yleisimmin käytetyt. [13, s. 12.]

Muuntajan kytkentäryhmien erottamiseksi toisistaan merkitään ensiksi iso kirjain, joka tarkoittaa ensiökäämin kytkentää, ja toiseksi pieni kirjain, joka tarkoittaa toisiökäämin kytkentää. Mikäli tähti- tai hakatähtikäämityksen tähtipiste tuodaan liittimelle, merkitään sitä kirjaimilla N ja n. Tähtipisteen tunnuskirjain merkitään välittömästi kyseisen käämityksen kirjainsymbolin perään, esimerkiksi kytkentäryhmä Dyn11. Kytkentäryhmän tunnus on oleellinen asia, koska vain samaa kytkentäryhmää olevat muuntajat voidaan kytkeä rinnakkain syöttämään samaa kuormitusta. [14, s. 24.] Muuntajan teho ilmoitetaan näennäistehona S (kVA) eli muuntajan nimellisjännitteen U_n (V) ja nimellisvirran I_n (A) tulona (kaava 1).

$$S = U_n \cdot I_n \quad (1)$$

Taulukossa 3 on esitetty vertailun ja tilavarausten hahmottamiseksi vakiokokois-
ten öljyeristeisten ja kuivaeristeisten muuntajien fyysisten mittojen eroavaisuuksia. Jos muuntamotila sijaitsee maantasolla ja käynti sinne on suoraan ulkoa, ei painavien ja isojen muuntamon laitteiden tuominen aiheuta ongelmia. Haastavaa on, jos muuntajan haalausreitti on pitkä ja reitillä on tasoeroja. Suuremmissa muuntajissa on pyörät kuljettamista varten. Pyörien päällä olevaa muuntajaa on suhteellisen helppo liikutella kovalla ja tasaisella alustalla. Muuntajaa voidaan myös siirtää voideltuja kiskoja pitkin tai jalaksilla varustettuja muuntajia rullien päällä. [15, s. 59.]

Taulukko 3. Vakiokokoisien BTB Transformers 20/0,4 kV:n -muuntajien fyysisiä mittoja [16].

	Öljyeristeinen muuntaja		Kuivaeristeinen muuntaja	
(kVA)	Paino (kg)	Leveys x syvyys x korkeus (mm)	Paino (kg)	Leveys x syvyys x korkeus (mm)
800	1950	1600x900x1650	2600	1620x850x1850
1000	2290	1640x950x1750	3150	1730x1000x1920
1250	3030	1790x1030x2000	3550	1740x1000x2070
1600	3430	1830x1060x2050	4300	1840x1000x2260
2000	4050	1870x1090x2170	5050	1880x1310x2440
2500	4520	2160x1520x1960	6500	2070x1311x2500

Taulukosta 3 nähdään, että isot muuntajat painavat tuhansia kilogrammoja. Kuljetusreitit ja muuntamotilan lattiarakenteiden sekä kynnysten on kestettävä kyseinen pistekuorma. Isotehoiset muuntajatilat vaativat paljon korkeutta, sillä tilaan on mahduttava korkeussuunnassa myös muuntajalle asennettavat kiskosillat.

Muuntajan ollessa kosketussuojaamaton on tilavarauksessa huomioitava väliseinä ja sen vähimmäisetäisyys muuntajasta. Kosketussuojatun muuntajan voi sijoittaa vapaasti muuntamotilaan ilman suojaseinärakennetta [15, s. 58]. Mikäli muuntaja koteloidaan, tulee lisäksi huomioida kotelon vaatima tila.

Eristysneste- O1-muuntajat ovat olleet Suomessa käytössä pitkään, ja ne ovat osoittautuneet luotettaviksi. Valtaosa käytössä olevista muuntajista on öljyeristeisiä. Ympäristönsuojelun kannalta ovat muuntajatekniikkaan kohdistuvat vaatimukset [14, s. 32] kiristyneet. Vaatimuksien vuoksi öljymuuntajien käyttö keskijännitealueella on monessa tapauksessa rajoitettua. Jos rajoitusten, esimerkiksi, palovaaran tai ympäristön saastumisen vuoksi edellytetään kalliita erikoistoimenpiteitä öljymuuntajalle, on tällöin kuivamuuntaja sopiva vaihtoehto. Hartsieristeisiä kuivamuuntajia voidaan käyttää myös maanalaisissa paikoissa, koska ne eivät ole herkkiä pölylle ja kosteudelle. Kun muuntamo rakennetaan tehdastilaan lähelle kuormitusta, on kuivamuuntaja toimiva valinta. [14, s. 32.] Kuivaeristeisen- ja öljyeristeisen muuntajan etuja ja haittoja on vertailtu seuraavissa luetteloissa.

Kuivaeristeisen muuntajan etuja verrattuna öljyeristeiseen muuntajaan:

- ei tarvitse öljykaukaloita
- ei tarvitse tehdä säännöllisiä öljyn tarkastuksia
- palokuorma on pienempi
- voidaan asentaa palovaarallisiin tiloihin
- F1- ja F2-luokan kuivamuuntajat eivät itsestään syty niissä tapahtuvasta oikosulusta [9, s. 8].

Kuivaeristeisen muuntajan haittoja verrattuna öljyeristeiseen muuntajaan:

- suurempi koko ja paino
- vesisammutukseen rajoituksia
- kalliimpi verrattuna saman tehoiseen
- yleensä äänekkäämpi
- kuormitettavuus pienentyy, jos muuntaja koteloidaan [9, s. 8].

Joissain tilanteissa on perusteltua valita yhden ison muuntajan sijaan kaksi pienempää muuntajaa. Esimerkiksi teollisuudessa toisen muuntajan rikkoutuessa voidaan yhdellä muuntajalla syöttää rakennuksen tiettyä osaa. Lisäksi pienemmillä muuntajilla on yleensä lyhyemmät toimitusajat. Yhden muuntajan

muuntamossa on pienemmät hankintakustannukset, mutta kahdella muuntajalla saadaan parempi toimintavarmuus.

Muuntajien rinnankäyttökelpoisuuden edellytykset:

- Muuntajien tulee olla rakennettu samoille jännitteille.
- Muuntajien tulee olla samasta kytkentäryhmästä, jolloin rinnakkain kytkettävät toisiojännitteet ovat samanvaiheisia, kun ensiöpuolet on kytketty rinnakkain.
- Oikosulkuimpedanssien erotus saa olla korkeintaan noin 10%.
- Nimellistehojen suhde saa olla korkeintaan 3:1.
- Nimellisjännitteiden toleranssi muuntosuhteissa pitää olla alle 0,5 %. [14, s. 27.]

Standardi SFS 6001 [8, s.75] velvoittaa, että teollisuusrakennuksiin sijoitetut muuntajat on varustettava suojalaitteilla, jotka poiskytkävät syötön automaattisesti vian sattuessa. Yhden muuntajan muuntamossa voidaan pääkytkimenä käyttää varokekuormanerotinta. Pääkytkimenä on käytettävä katkaisijaa, jos muuntajia on kaksi tai enemmän. Jos muuntajia on vain yksi, mutta sen teho ylittää 1600 kVA, tulee silloinkin käyttää suojareleillä varustettua katkaisijaa. Jotkin kojeistovalmistajat sallivat kuitenkin sulakesuojauksen 2000 kVA:n muuntajatehoon asti. Varokekuormanerotin tulee avautua yhden tai useamman sulakkeen toimiessa. [9, s. 12–13.]

Muuntamossa tulee olla varasulakkeita kolme kappaletta jokaista käytössä olevaa kokoa. Yhden sulakkeen palaessa pitää vaihtaa kaikki kolme sulaketta, koska muidenkin sulakkeiden toimintakyky on saattanut heikentyä. Jos sulakkeiden vaihtoon tarvitaan erikoistyökalua, on sellaisen oltava muuntamossa. [9, s. 17.]

3.4 Keskijännitekojeisto

Kojeistolla tarkoitetaan sellaista laitetta, joka voi tehdä tarvittavia kytkentä-, ohjaus-, suojaus- ja valvontatoimenpiteitä [17, s. 117]. Kojeistot luokitellaan usein niissä käytetyn eristeen perusteella. Keskijännitekojeistot ovat tyypillisesti SF₆-

eristeisiä tai ilmaeristeisiä. SF₆-eristeisessä kojeistossa kytkinlaitteet ovat kaasutäytteisessä säiliössä. Ilma- ja SF₆-eristeisillä kojeistoilla on erilaiset tilavaraukset. Suomessa voimassa olevien säädösten mukaan pelkästään esteillä suojatut uudet sisälaitteistot eivät ole sallittuja [8, s. 55].

Muuntamon tilantarpeeseen vaikuttaa suuresti käytettävä keskijännitekojeiston tyyppi ja sijainti. Uusissa asennuksissa käytetään nykyisin lähes pelkästään SF₆-eristeisiä kojeistoja. SF₆-kaasu on erinomainen eriste ja valokaaren sammuttaja. [9, s. 4.] SF₆-eristeinen keskijännitekojeisto vie pituussuunnassa noin kolmasosan ja korkeussuunnassa noin puolet vähemmän tilaa verrattuna ilmaeristeiseen kojeistoon [15, s. 126].

Kojeistotiloissa, joissa SF₆-kaasun kerääntyminen voi aiheuttaa vaaraa, on vuodon varalta järjestettävä ilmanvaihto. Ulkoasennuksissa ei erityistoimenpiteisiin tarvitse ryhtyä. Maanpinnan yläpuolisissa SF₆-laitteistoja sisältävissä tiloissa riittää luonnollinen ilmanvaihto, jos suurimman lohkon kaasumäärä normaalissa ilmanpaineessa ei ole yli 10 % kojeistotilan tilavuudesta. Jos luonnollisen ilmanvaihdon vaatimukset eivät täyty, on koneellinen ilmanvaihto tarpeen. Kojeistotilojen sijaitessa maanpinnan alapuolella tarvitaan SF₆-laitteistoja sisältävissä tiloissa koneellinen ilmanvaihto, jos tiloihin voi kerääntyä henkilöstön terveydelle ja turvallisuudelle vaarallinen määrä kaasua. Jos muuntamon keskijännitekojeisto toteutetaan SF₆-eristeisenä, on lattiakanaalien oltava tuulettuvia. Jotta SF₆-kaasun lämpöhajoamista ei tapahtuisi, kojeistotilassa mikään ilman kanssa kosketuksissa oleva laitteen osa ei saa ylittää 200 °C:tta. [8, s. 78.]

3.5 Maadoitus

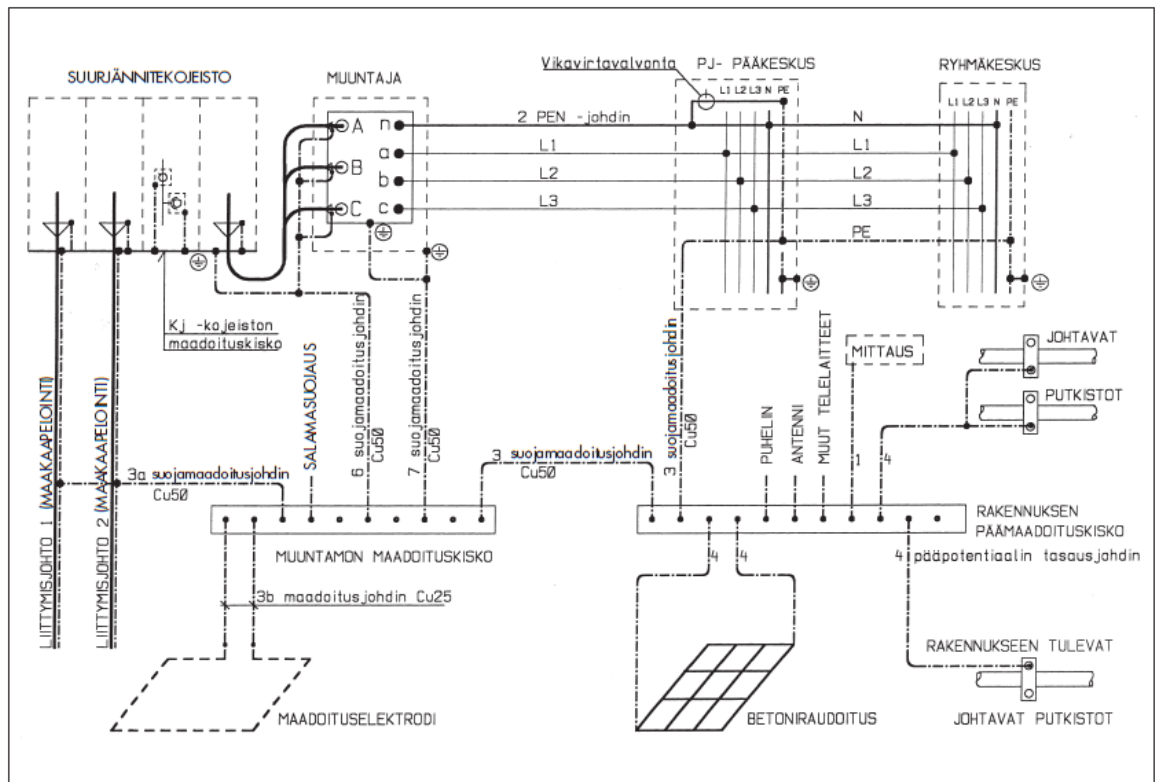
Maadoitusjärjestelmän tarkoitus sähköasennuksissa on tehdä mahdolliseksi sähköasennusten ja sähkölaitteiden turvallinen ja luotettava toiminta. Pienjänniteasennusten maadoituksia koskevat perusvaatimukset on esitetty standardisarjassa SFS 6000. Suurjännitesähköasennuksissa tulee noudattaa standardia SFS 6001 Suurjännitesähköasennukset. Mikäli rakennukseen tulee suur- ja pienjänniteverkkoa, käytetään Suomessa yleensä yhteistä maadoitusta.

Yhteinen maadoitus tarkoittaa, että pienjänniteverkon tähtipiste ja PEN-johdin maadoitetaan keskijänniteverkon maadoitusjärjestelmään. [18, s. 54.]

Ehtona yhteisen maadoituksen käytölle on, että keskijänniteverkossa tapahtuvan maasulun aikana pienjänniteverkossa tai siihen liitetyissä laitteistoissa ei saa esiintyä vaarallisia kosketusjännitteitä. Toinen ehto on, että sähkön käyttäjän pienjännitteisissä laitteistoissa pienjännitejärjestelmän tähtipisteen jännitteen noususta aiheutuva käyttötaajuinen rasisusjännitteen arvo ei saa ylittää sallittua arvoa. [18, s. 54.]

Suurjänniteverkon maadoitusjärjestelmän alueelle syöttävät pienjänniteasennukset tulee kytkeä suurjänniteasennusten kanssa yhteiseen maadoitusjärjestelmään. Tällöin pienjännitejärjestelmille luetellut ehdot toteutuvat. [18, s. 54.]

Kuvassa 4 on periaatekaavio maadoitusjärjestelmästä, jossa on kiinteistömuuntamo. Kaavioon on merkitty oleelliset johdinvahvuudet.



Kuva 4. Esimerkkikaavio sähkökäyttäjän kiinteistömuuntamon maadoitusjärjestelmästä [9, s. 20].

Kuvassa 4 muuntajan ja pääkeskuksen välinen johto on nelijohtiminen, eli siinä on PEN-johdin. PEN-johdin on jaettu vasta pääkeskuksella PE- ja N-johtimiksi. Mikäli muuntajan kotelo ja n-napa on yhdistetty toisiinsa, pitää jakaminen PE- ja N-johtimiksi tehdä jo n-navassa, jolloin syöttö muuntajalta pienjännitekeskukselle tehdään viisijohtimisena. [18, s. 66.] Nykyisin keskijännitekojeistot on varustettu jännitteenilmaisimilla ja maadoituskytkimillä, jolloin muuta varustusta työmaadoittamiseen ei tarvita.

3.6 Pienjännitetilavaraukset

Pienjännitepuolella tulee tilojen suunnittelussa ottaa huomioon pääkeskuksen, kiskosillan ja kompensoinnin tarvitsemat tilavaraukset. Syöttö muuntajalta pääkeskukselle voidaan toteuttaa kiskostolla tai suurvirtakaapeloinnilla. Tilojen suunnittelussa on otettava huomioon kiskoston ja suurvirtakaapeloinnin tarvitsemat reitit muuntajan ja pääkeskuksen välillä. Muuntamon tilantarpeeseen vaikuttaa olennaisesti myös pienjännitekeskuksen sijainti muuntajaan nähden.

Teollisuudessa käytetään 400 V:n ja 690 V:n pää-, nousu- ja alakeskuksia. Muuntamon pääkeskus rakennetaan yleensä 5-johdinjärjestelmän mukaisesti, joten keskuksessa on vaihekiskot sekä N- ja PE-kiskot erikseen. Pienjännitekeskuksen on täytettävä standardin SFS-EN 61439 vaatimukset. [9, s. 14.]

Yhteen pienjännitekeskukseen ei tulisi kytkeä yli 1600 kVA muuntajatehoa, jollei siihen ole pakottavia syitä. Lisäksi pienjännitekeskusta syötetään yleensä vain yhdellä muuntajalla, jotta oikosulkuvirrat pysyvät pienempinä ja pienjännitekeskus voidaan rakentaa pienemmällä oikosulunkestävyydellä. Syötettäessä esimerkiksi teollisuuslaitosta kahdella muuntajalla kannattaa eri muuntajien pääkeskusten välille rakentaa kiskokatkaisija. Tällöin toisen muuntajan rikkoutuessa tai huoltotoimenpiteiden aikana voidaan rakennusta syöttää kiskokatkaisijan kautta yhdellä muuntajalla. Kiskokatkaisija pidetään auki normaalikäytössä. [9, s. 14.]

Hajamagneettikenttien pienentämiseksi tulisi pienjännitekeskuksen sijainti muuntamotiloissa olla lähellä muuntajaa, esimerkiksi muuntajatilan seinän

takana. Tällä tavoin rakennettaessa muuntajan ja keskuksen väliset pienjännitepääjohdot ja kiskot ovat mahdollisimman lyhyet, jolloin kustannukset saadaan minimoitua. Keskuksen optimisijainti on lähellä muuntajaa sekä keskukselta lähtevien nousujohtojen haaroituspistettä. Pääkeskukset ovat kookkaita, ja suunniteltaessa niitä muuntamotiloihin tulee tilavaraus tehdä sen mukaisesti. [9, s. 14.]

Pääkeskuksessa tulee olla pääkytkin, jolla voidaan avata ja sulkea virtapiiri. Pääkytkimen tulee olla toimintakuntoinen myös silloin, kun muuntajaa kuormitetaan sallitulla ylikuormalla. Tyypiltään pääkytkin voi olla myös katkaisija, jolloin sitä voidaan käyttää keskuksen sekä muuntajan ylikuormitussuojana. [9, s. 14.]

Keskuksen ollessa 1000 A tai suurempi tulee siinä olla maadoituskytkin tai maadoituskohtiot. Varustettaessa keskus maadoituskohtioilla suositellaan ne asennettavaksi pääkytkimen molemmille puolille. Pääkytkimen muuntajan puoleista maadoituskohtiota käytetään maadoittamiseen muuntajan vaurion tai huollon aikana. Samanaikaisesti keskusta voidaan syöttää pääkytkimen lähtöpuolen maadoituskohtion kautta varavoimakoneella. [9, s. 14.]

Syöttö muuntajalta pääkeskukselle tuodaan joko kiskosiltaa tai suurvirtakaapeleita pitkin. Suurvirtakaapelit ovat yksijohtimisia, ja ne valmistetaan kuparista tai alumiinista. Kiskosilloilla toteutetaan suurivirtainen sähkönjakelu. Teollisuudessa kiskosiltojen nimellisvirrat ovat tuhansia ampeereja. Kiskosillat valmistetaan yleensä alumiinista, mutta myös kuparisia kiskoja on saatavissa. Kiskosiltaan kuuluu varsinaisen virtakiskon lisäksi sen kotelointi. Kotelointi vähentää suurien virtojen aiheuttamaa magneettikenttää sekä täyttää kosketussuojauksen vaatimukset. [19, s. 6.] Kiskosillat saattavat kulkea tilasta toiseen ja palo-osastosta toiseen. Kiskosiltojen läpiviennit tulee tehdä palo-osastojen mukaisiksi. Palosulut tehdään kiskosillan koteloinnin sisäpuolelle ja ulkopuolelle. [19, s. 8.]

Pääkeskuksen sijainti muuntajaan nähden vaikuttaa olennaisesti keskuksen syötön rakentamiseen ja kustannuksiin. Toteutettaessa syöttö kummalla tahansa edellä mainitulla järjestelmällä tulee muuntamotilojen suunnittelussa ja tilavarauksissa huomioida riittävät tilat pääkeskuksen syöttöjärjestelmälle.

Kiinteistömuuntamotilojen suunnittelussa täytyy tapauskohtaisesti huomioida myös loistehon kompensointitarpeet. Etenkin teollisuuslaitoksissa on paljon loistehoa tuottavia sähkölaitteita. Kompensointi pienjänniteverkossa voidaan tehdä laitekohtaisesti, ryhmäkohtaisesti tai kompensoimalla keskitetysti. Nämä voidaan toteuttaa rinnakkais-, estokela-, suodatinparistoilla tai aktiivisuodattimilla. [20, s. 86.]

Teollisuuslaitoksen keskitetty kompensointi sijoitetaan esimerkiksi kiinteistömuuntamoon. Muuntamoissa tehtävä kompensointi toteutetaan yleensä muuntajan pienjännitepuolella, vaikka kompensoimalla keskijänniteverkossa virta olisi pienempi ja kompensointi voitaisiin toteuttaa pienemmillä kondensaattoreilla. Kompensoimalla pienjännitepuolella saadaan etuna muuntajan häviöiden pieneminen. [20, s. 85.] Loistehon kompensoinnille tulee varata pienissä kohteissa 600 x 600 x 1500 mm:n tila ja suurissa kohteissa 1500 x 750 x 2000 mm:n tila [7, s. 71].

Sähkökäyttäjän sisäisessä verkossa loistehon siirrosta aiheutuvat haitat ovat samantyyppisiä kuin jakeluverkoissakin. Toisin sanoen loistehon siirrosta aiheutuu muuntajien jännite-, teho- ja energiahäviöiden kasvua sekä johtojen suurempia poikkipintoja. Loisvirran aiheuttamat pätöteho- ja energiahäviöt merkitsevät kustannusten kasvua. Esimerkiksi jos teollisuuslaitoksen kuormien loistehoa ei tuoteta tehtaan kompensointilaitteilla, ottaa kuorma loistehon verkosta. Tällöin kuorma ottaa verkosta enemmän virtaa. Jos loisteho otetaan sähkönjakeluverkosta, saattaa seurauksena olla, että sähköliittymän pääsulakekoko joudutaan suurentamaan, koska loistehon siirto vähentää pätötehon siirtokykyä. Pääsulakekoon suurentaminen johtaa suurempaan liittymismaksuun sekä pääsulakekoosta riippuvaan perusmaksuun. Näin ollen loistehon kompensointitarve syntyy lähinnä jakeluverkon haltijan loistehon laskutuksesta. [20, s. 20.]

3.7 Ilmanvaihto

Muuntajatilán ilman lämpötilaa tulee valvoa ja ilmanvaihdon tehoa ohjata lämpötilan mukaan. Sähkötilojen pitäisi olla varustettu joko luonnollisella tai koneellisella ilmanvaihdolla. Sopivan lämpötilan takaamiseksi on käytettävä tarvittaessa

jäähdyttävää ilmastointia. [10, s. 598.] Sellaisissa sähkötiloissa, joissa on huomattava määrä häviö- ja käyttölämpöä tuottavia sähkölaitteita, on lämpöhäviöt poistettava tilasta. Sähkötiloissa olevien laitteistojen ja kojeiden kannalta on ilmanvaihdon ja jäähdytyksen oltava kohdallaan, jotta voidaan luoda edellytyksiä niiden häiriöttömälle toiminnalle. Lisäksi ilmanvaihto ehkäisee pölyn kertymistä laitteisiin.

Muuntajatiloihin suositellaan ensisijaisesti luonnollista ilmanvaihtoa. Luonnollinen ilmanvaihto ei riitä muuntamoissa, joissa kuormitus on tasainen ympäri vuoden tai kuormitushuippu on kesällä. Kiinteistömuuntamoihin joudutaan usein rakentamaan koneellinen ilmanvaihto. Toteutettaessa luonnollinen ilmanvaihto yli 800 kVA:n muuntamoon pitäisi ilmanvaihdon toimivuuden vuoksi ilmanvaihtoaukkojen olla todella suuria. [21, s. 4.] Ongelmana on, että suuret ilmanvaihtoaukot edistävät mahdollista tulipalon kiihtymistä.

Muuntajatiloin ilmanvaihdon tyyppi ja tarvittaessa jäähdytyksen ratkaisee muuntajan tai muuntajien tuottama häviölämpö. Muuntajassa syntyy häviölämpöä käämityksissä ja rautasydämissä. Liiallinen lämpeneminen aiheuttaa eristyksen nopeampaa vanhenemista ja on siksi haitallista [16, s. 53]. Taulukossa 4 on esitetty öljy- ja kuivaeristeisten muuntajien häviöitä tyhjäkäynnillä ja kuormitushäviöitä nimelliskuormalla kuormitettuina.

Taulukko 4. Muuntajien likimääräisiä häviöarvoja [21, s. 6].

kVA	Eristysneste O1 (mineraaliöljy)		Kuivamuuntajat	
	P ₀ / W	P _k / W	P ₀ / W	P _k / W
315	480	3550	1000–1150	4200–4600
400	580	4300	1150–1200	4700–5500
500	700	5000	1400–1500	6300–7000
630	820	5900	1600–1650	7000–7800
800	1020	7150	1900–2100	9350–9400
1000	1130	8850	2250–2300	10950–11000
1250	1380	9700	2700–2900	11200–13500
1600	1650	12200	3050–3100	12500–16000
2000	1900	14600	4000–4200	15500–19500

P₀ on tyhjäkäyntihäviöt (W)

P_k on kuormitushäviöt (W) nimelliskuormalla.

Taulukon 4 arvot pätevät 20/0,4 kV:n muuntajiin, joille salamasyökyjännitteen koestus on tehty 125 kV:n syökyjännitteellä [21, s. 6]. Taulukon 4 perusteella voidaan todeta, että öljyeristeiset muuntajat tuottavat vähemmän häviöitä saman tehoiseen kuivamuuntajaan verrattuna. Tyhjäkäynnillä öljyeristeinen muuntaja tuottaa lämpöhäviöitä noin puolet vähemmän kuivamuuntajaan nähden. Tyhjäkäyntihäviöt ovat satoja ja jopa tuhansia watteja muuntajan tehosta riippuen. Nimelliskuormalla kuormitettuna muuntajien lämpöhäviöt ovat lähes samaa luokkaa.

Muuntajatilän koneellinen ilmanvaihto voidaan toteuttaa joko sisään- tai ulospuhalluksella. Sisäänpuhallus on suositeltava vaihtoehto, koska se vähentää likaantumista ja mahdollistaa ilman oikean suuntaamisen kohti muuntajan alaosaa. Tuloilma tulisi ottaa mahdollisimman pölyttömästä paikasta. Muuntamon ilmanvaihtojärjestelmä on sijoitettava siten, että sitä voi huoltaa ja tarkastaa muuntamon ollessa käytössä. [9, s. 4.] Jos muuntamon ilmanvaihtokanavia johdetaan rakennuksen muiden tilojen läpi, on kanavointien täytettävä

ympäristöministeriön asetuksen 848/2017 pykälän 19 vaatimukset paloeristyksen suhteen. [9, s. 4.] Käytettäessä vakioitehoisia muuntajia voidaan muuntajatilasta poistettavan jäähdytysilman määrä katsoa taulukosta 5.

Taulukko 5. Muuntajatilasta poistettava jäähdytysilman määrä koneellisessa ilmanvaihdossa [21, s. 5].

Muuntajateho [kVA]	Poistettava ilmamäärä [m ³ /h]	
	kuormitushuippu talvella $\Delta t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$	kuormitushuippu kesällä $\Delta t = 10 \text{ }^\circ\text{C}$
800	1200	2300
1000	1400	2800
1250	1600	3100
1600	1900	3900

Jos muuntamon kuormitushuippu on kesäaikana tai kuormitus tasainen ympäri vuoden, on poistettavan ilmamäärän oltava suurempi kuin taulukossa. Muuntajatilasta poistettavan jäähdytysilman määrän voi myös laskea kaavalla 2. Laskeessa kaavalla 2 ilmamäärää, tulee mitoitus tehdä niin, että tilasta poistettavan ilman lämpötila ei ylitä +40 °C:tta [21, s. 4].

$$V = \frac{0,78 \cdot P_h}{\Delta t} \text{ (m}_3\text{/s)} \quad (2)$$

P_h on kokonaishäviöt mitoitusteholla (kW).

Δt on tulo- ja poistoilman lämpötilaero (°C). [21, s. 4.]

4 Esimerkkikohde Fazer Leipomot Oy

4.1 Kohteen esittely

Fazer Leipomot Oy on osa Fazer-konsernia. Fazer on perheyrittäjä, joka toimii useassa eri maassa. Fazer valmistaa leipomo-, makeis-, keksi- ja viljatuotteita sekä tarjoaa ruokailu- ja kahvilapalveluita. Suomessa Fazerin leipomot sijaitsevat Lahdessa, Vantaalla ja Lappeenrannassa. [22.] Tämä insinöörityö koskee Lahden leipomoa.

Tässä luvussa käsitellään Lahden leipomon kiinteistömuuntamon suunnittelussa huomioitavia asioita. Verkonhaltijana alueella toimii Lahti Energia Sähköverkko Oy. Lahden leipomossa sähköliittymä on keskijänniteliittymä, jonka sähköverkkoyhtiö on toimittanut leipomon pääkytkinasemalle. Sähköliittymä on kytketty renkaaseen. Pääkytkinasemalta eteenpäin keskijänniteverkkoa on rakennettu tehtaalla useille eri muuntamoille ja muuntamoilta eteenpäin pienjännitejakeluna useaan eri keskukseen.

4.2 Muuntamon lisääminen kiinteistöön

Keskijännitesähköasennusten muutos- ja laajennustöissä on periaatteena, että uudet asennukset tehdään standardin SFS 6001 mukaisesti. Jos vanha asennus uusitaan kokonaan tai sitä esimerkiksi laajennetaan asentamalla uusia muuntajia, on toteutus tehtävä standardin mukaan. Asennuksen osat, joihin työt eivät kohdistu, voidaan jättää ennalleen, jollei niistä aiheudu vaaraa hengelle, terveydelle tai omaisuudelle. Myös korjaustöissä voidaan noudattaa laitteiston rakennusajankohdan vaatimuksia edellyttäen, että niistä ei aiheudu vaaraa hengelle, terveydelle tai omaisuudelle. [8, s. 155.]

Kohteen suunnittelutyö aloitettiin kohdekäynnillä tutustumalla Fazerin Lahden leipomon olemassa olevaan sähköverkkoon ja tilatarpeisiin. Leipomon linja 8 uusitaan, jonka myötä leipomoon tulee uusi sähköuuni. Sähköuunin tehontarve on noin 1800 kVA. Tämän seurauksena tehtaaseen joudutaan rakentamaan uusi kiinteistömuuntamo. Leipomossa uusitaan tulevaisuudessa myös linja 9.

Työn yhteydessä varauduttiin linjan 9 uusimiseen ja suunniteltiin myös sen muuntajalle, pääkeskukselle ja kompensointiyksikölle tilavaraukset.

Leipomossa oli varattu uutta muuntamoa varten tilat kellarista uusittavan linjan 8 alapuolelta. Kellaritilat ovat osittain maanpinnan alapuolella. Muuntamon sijoittaminen rakennuksen nykyisiin varastotiloihin aiheuttaa isoja toimenpiteitä. Kohteessa joudutaan muun muassa siirtämään viemäriinjaa, sprinkleriputkia ja kaapelihyllyjä muuntamon tieltä pois.

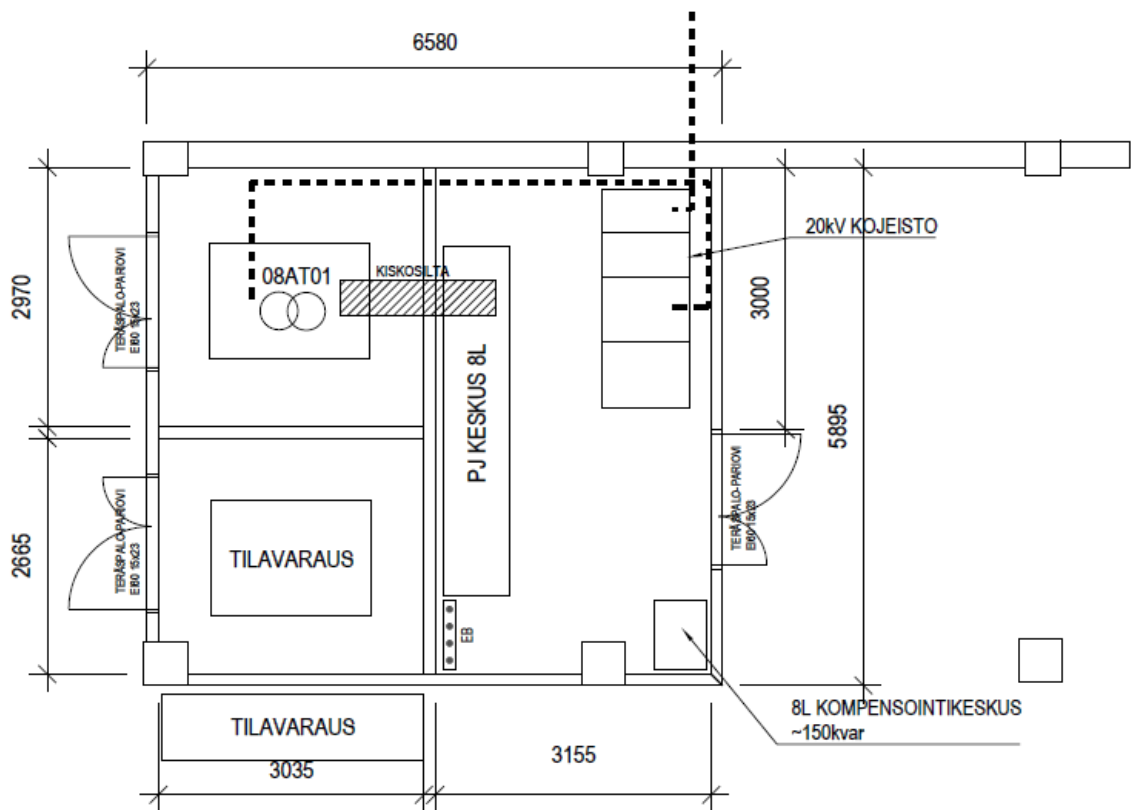
Muuntamotilan sijainnin ja käyttökohteen vuoksi muuntajaksi tulee kuivaeristeinen 2000 kVA:n muuntaja. Pitkien toimitusaikojen vuoksi tilaaja pyysi etukäteen muuntajatoimittajilta muuntajatarjoukset itse. Muuntajatarjouksista saatiin muuntajien fyysiset koot, joiden perusteella laadittiin niiden tilatarpeet ja huoltoreitti. Kun muuntajien tilatarpeet saatiin tehtyä, oli seuraava vaihe suunnitella kojeiston sijainti ja sen vaatima tila.

Kojeistoksi tulee 2+2-kojeisto, eli siinä on kaksi tulokennoa ja kaksi lähtökennoa. Tulokennoja on kaksi, jotta syöttö voidaan kytkeä renkaaseen. Lähtökennojen osalta toinen tulee heti käyttöön linjaa 8 syöttävää muuntajaa varten ja toinen lähtökenno on varaus linjan 9 muuntajaa varten. Kojeistojen tilavaraukset tehtiin kojeistovalmistajien asennusohjeiden mukaisesti. Koska muuntamotilat sijaitsevat rakennuksen alimmassa kerroksessa, ei ole järkevää rakentaa lattiakanaalia valmiiseen lattiaan. Tämän takia kojeisto joudutaan varustamaan korotussokkelilla, jotta kaapeloinnille saadaan riittävä taivutustila kojeiston alla.

Samaan pääkeskustilaan oli aluksi tarkoitus sijoittaa linjan 8 pääkeskus ja tulevaisuudessa uusittavan linjan 9 pääkeskus. Kun suunnittelutyö eteni ja pääkeskuksiin tulevien lähtöjen määrä tarkentui, kysyttiin keskusvalmistajilta pääkeskusten kokoarvioita. Kokoarvioiden perusteella todettiin, että keskuksset eivät välttämättä mahtuisi samaan tilaan, jolloin linjan 9 pääkeskukselle tehtiin tilavaraus eri paikkaan. Linjojen 8 ja 9 pääkeskukset varustetaan kiskokatkaisijalla. Kiskokatkaisija mahdollistaa, että toisen muuntajan vikaantuessa tai huoltotoimenpiteen ajan voidaan yhdellä muuntajalla syöttää molempia pienjännitekeskuksia. Molempia pienjännitekeskuksia ei kuitenkaan voida kuormittaa täydellä

teholla yhdellä muuntajalla, mutta kiskokatkaisija mahdollistaa molempien pienjännitekeskusten tärkeimpien ennalta määritettyjen toimintojen ylläpidon.

Kuvassa 5 on kohteen muuntamotilan pohjapiirustus. Muuntajat ovat omissa tiloissaan. Ylempi muuntajatila on linjan 8 muuntajalle ja alempi on tilavaraus linjan 9 muuntajalle. Keskijännitekojeisto on sijoitettu samaan tilaan linjan 8 pääkeskuksen kanssa. Mustalla katkoviivalla on kuvattu pääkytkinasemalta muuntamoon rakennettavaa 20 kV:n syöttökaapelia. Muuntamon pääkeskustilaan varattiin tila myös 150 kVAR:n kompensointiyksikölle. Yhden 150 kVAR:n kompensointiyksikön koko riippuen valmistajasta on noin 800 x 600 x 1150 mm.



Kuva 5. Linjan 8 muuntamotila.

Tämän kohteen suunnitelmat tehtiin valmiiksi insinöörityön aikana. Opinnäytetyössä ei ole mahdollista esittää kohdetta rakennettuna, koska kiinteistömuuntamo ei rakennettu insinöörityön aikana. Haluan kiittää Fazer Leipomot Oy:n henkilöstöä, jotka mahdollistivat tämän projektin käytön insinöörityössä esimerkkikohteena.

5 Yhteenveto

Tavoitteena oli selvittää, mitä erilaisia asioita sähkösuunnittelijan tulee huomioida kiinteistömuuntamoita suunnitellessa. Lisäksi oli tarkoitus yleisellä tasolla käydä läpi keskijännitemuuntamon laitteistoja. Keskeinen tarkoitus oli perehdyttää insinööriä kiinteistömuuntamoihin, jotta jatkossa voisi itsenäisemmin suunnitella vastaavia kohteita.

Työlle asetetut tavoitteet saavutettiin kaikilta osin. Kuitenkin aina on parantamisen varaa eikä koskaan tule valmista. Yksi tavoite oli myös, että insinöörityön aihe ei lähde paisumaan, jotta pysytään varsinaisessa asiassa. Tässä opinnäytetyössä valmistui edellä mainittujen tavoitteiden lisäksi suuntaa antavia ohjeita koskien muuntamon laitteistojen tilavarauksia.

Insinöörityön ohella tein esimerkkikohteen sähkösuunnitelmia. Esimerkkikohteen suunnitelmat tehtiin valmiiksi insinöörityön aikana. Insinöörityön aikana muuntamoita ei vielä rakennettu, joten valmista muuntamoita ei voida esitellä tässä työssä.

Kestävän kehityksen periaatteet ja ympäristövaatimukset tulevat todennäköisesti muokkaamaan kiinteistömuuntamoita entisestään. Siksi jatkuva opiskelu ja ajan tasalla pysyminen ovat olennaisia, jotta suunnittelijat voivat vastata tuleviin haasteisiin ja mahdollisuuksiin kiinteistömuuntamoiden suunnittelussa. Itsensä kehittämisen kannalta projekti, joka on monimutkainen ja haastava, antaa teki-jälleen paljon tietoa ja oppia. Näin oli myös tässä työssä, insinöörityö oli antoisa.

Lähteet

- 1 Palvelut. Verkkoaineisto. HL-Elec Oy. <<https://www.hl-elec.fi/>>. Luettu 31.10.2023.
- 2 Teollisuus. 2023. Verkkoaineisto. Motiva. <https://www.motiva.fi/ratkaisut/energian kaytto_suomessa/energian_loppukaytto/teollisuus>. Päivitetty 12.10.2023. Luettu 20.10.2023.
- 3 Sähkön hankinta ja kulutus. 2023. Verkkoaineisto. Motiva. <https://www.motiva.fi/ratkaisut/energian kaytto_suomessa/sahkon_hankinta_ja_kulutus>. Päivitetty 28.4.2023. Luettu 20.10.2023.
- 4 Hietalahti, Lauri. 2013. Teollisuuden sähkökäytöt. Tampere: Tammertekniikka.
- 5 Korpinen, Leena. 1998. Sähkön siirto- ja jakeluverkot. Verkkoaineisto. Leena Korpinen. <http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt_opus/3sahkon_siirto_ja_jakeluverkot.pdf>. Päivitetty 3.1.2008. Luettu 13.10.2023.
- 6 Sähköturvallisuuslaki. 2016. 1135/2016.
- 7 Koivisto, Pekka & Hakala, Paavo. 2015. Sähkö- ja tietoteknisten järjestelmien tilavaraukset. ST-käsikirja 35. Sähkötieto ry:n julkaisusarja. 2., uudistettu painos. Espoo: Sähköinfo Oy.
- 8 SFS 6001:2018. Suurjännitesähköasennukset. Suomen Standardisoimisliitto.
- 9 Kuluttajamuuntamot. 2018. ST 53.11. Sähkötieto.
- 10 SFS 6000:2022. Pienjännitesähköasennukset. Suomen Standardisoimisliitto.
- 11 Teollisuusmuuntajatila. 2002. PSK 2001. PSK Standardisointi.
- 12 Muuntamotila rakennuksessa. 2002. RT 92-10774. Rakennustieto.
- 13 Korpinen, Leena. 1998. Muuntajat ja sähkölaitteet. Verkkoaineisto. Leena Korpinen. <http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt_opus/9muuntajat_ja_sahkolaitteet.pdf>. Päivitetty 3.1.2008. Luettu 6.10.2023.
- 14 Hietalahti, Lauri. 2011. Muuntajat ja sähkökoneet. Tampere: Tammertekniikka.

- 15 Monni, Markku. 2017. Sähköverkkoasennukset. 7., kokonaan uudistettu painos. Hämeenlinna: Adato Energia Oy.
- 16 Muuntajat. Verkkoaineisto. BTB Transformers. <<https://www.btbtransformers.com/fi/muuntajat/#!/transformer-section-1>>. Luettu 6.10.2023.
- 17 Elovaara, Jarmo & Haarla, Liisa. 2011. Sähköverkot 2. Verkon suunnittelu, järjestelmät ja laitteet. Helsinki: Gaudeamus Helsinki University Press.
- 18 Tiainen, Esa; Nurmi, Tapani; Koivisto, Pekka; Ylinen, Timo & Kauppila, Jenna. 2019. Maadoituskirja. 7., uudistettu painos. Espoo: Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto.
- 19 Tommila, Janne. 2012. Kiskosilta. Insinööriyö. Satakunnan ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 20 Eronen, Mikko; Hietalahti, Lauri; Pakonen, Pertti. 2018. Yliaallot ja kompensointi. 2., uudistettu painos. Espoo: Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto.
- 21 Sähkötilojen ilmanvaihto ja jäähdytys. 2017. ST 53.61. Sähkötieto.
- 22 Tietoa Fazerista. Verkkoaineisto. Oy Karl Fazer Ab. <<https://www.fazer-group.com/fi/tietoa-fazerista/liiketoimintamme/fazer-leipomot-monipuolinen-valikoima-leipia-seka-herkullisia-makeita-leivonnaisia-ja-kakkuja/>>. Luettu 31.10.2023.