

Marko Vehkaniemi

KESKIJÄNNITEJAKELUJÄRJESTELMÄ KIINTEISTÖISSÄ

Sähkö- ja automaatiotekniikan koulutusohjelma

2016

KESKIJÄNNITEJAKELUJÄRJESTELMÄ KIINTEISTÖISSÄ

Vehkaniemi Marko
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Sähkö- ja automaatiotekniikan koulutusohjelma
toukokuu 2016
Ohjaaja: Nieminen Esko
Sivumäärä: 51
Liitteitä: 1

Asiasanat: keskijännitekojeisto, muuntaja, suojaus

Opinnäytetyön aiheena on keskijännitejakelujärjestelmä kiinteistöissä. Tavoitteena on selvittää jakelujärjestelmään kuuluvat komponentit sekä järjestelmän eri kokonaisuuksien suojaamiseen käytetyt menetelmät.

Työssä selvitetään erityyppisten muuntajien valintaan vaikuttavia asioita sekä sivutaan keskijännitejakelujärjestelmän vaikutuksia muihin suunnittelualoihin.

MEDIUM VOLTAGE POWER DISTRIBUTION SYSTEM

Vehkaniemi Marko

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Electrical engineering

Month 2016

Supervisor: Nieminen Esko

Number of pages: 51

Appendices: 1

Keywords: medium voltage, power distribution, transformer

The subject of the thesis is on commercial properties in medium-voltage distribution system. The aim is to determine the distribution of the system components, as well as the methodology used for the protection of the various entities of the system.

The thesis has several different types of transformers, as well as touches on the impact of medium-voltage distribution system with other design areas.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	KESKIJÄNNITELIITTYMÄ	7
3	KESKIJÄNNITEKOJEISTO	10
3.1	Kennotyypit.....	11
3.1.1	Liityntäkenno	11
3.1.2	Katkaisijakenno	12
3.1.3	Mittauskenno	13
3.1.4	Muuntajakkenno	14
3.1.5	Muut	15
3.2	Kotelointi	17
3.2.1	kennokoteloitu (cubicle).....	17
3.2.2	Metallikoteloitu	17
3.2.3	Tilakoteloitu (compartmented).....	17
3.3	Eristys	18
3.3.1	SF6-kaasu	18
3.3.2	Ilma	20
3.3.3	Yhteenvedo	20
3.4	Varusteet	22
3.4.1	Jännitteisyyden ja vaiheistuksen indikointi.....	22
3.4.2	Kaasunpainemittari.....	23
4	MUUT KOMPONENTIT JÄRJESTELMÄSSÄ.....	23
5	MUUT TARVIKKEET	25
6	MUUNTAJA	27
6.1	Eriytyypiset muuntajat	28
6.1.1	Mittamuuntaja	29
6.1.2	Öljymuuntaja	32
6.1.3	Kuivamuuntaja	34
6.2	Häviöt.....	35
6.3	Valintaperusteet	36
7	SUOJAUS	37
7.1	Kojeiston suojaus	37
7.2	Muuntajan ylikuormitussuojaus.....	38
7.3	Valokaari.....	41
7.3.1	Valokaarisuojaus	41
7.4	Asetteluarvot	43
8	OHJAUKSET	43

8.1	Liityntäkennojen ohjaus.....	43
8.2	Katkaisijakennon ohjaus	44
8.3	Muut ohjaukset.....	44
9	MAADOITUKSET	44
9.1	Keskijännitejakelujärjestelmän maadoitus.....	45
10	VAIKUTUKSET MUIHIN SUUNNITTELUALOIHIN	47
10.1	Rakenteet.....	48
10.2	Kaapelitila	49
10.3	Ilmastointi	50
	LÄHTEET.....	51
	LIITTEET	

1. Tampereen sähkölaitoksen esimerkkikaavio 20kV kojeistosta.

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö sai alkunsa Sähkötekniikka Oy Kari Sirenin ehdotuksesta. Heidän kokemusten mukaan kyseisestä aiheesta ei löytynyt yksiselitteistä ohjeistusta, jonka avulla olisi pystynyt määrittämään keskijännitejakelujärjestelmän eri komponentit.

Tämän työn tarkoituksena on laatia riittävän laaja sekä selkeä teos kyseiseen aiheeseen.

Työn alussa läpikäydään keskijänniteliittymän hankintaan liittyviä asioita sekä tutkitaan keskijännitekojeiston sekä liittymän hankinnasta aiheutuvia kuluja.

Keskijännitekojeisto rakentuu eri toiminnon omaavista kennoista. Tässä työssä läpikäydään kiinteistösovelluksissa eniten käytetyt kennotyypit sekä sivutaan hieman muita yleisiä kennotyyppejä.

Kojeisto on mahdollista hankkia joko ilma- tai kaasueristettynä. Työssä tutkitaan näitä eri eristystapoja sekä vertaillaan niiden hyviä ja huonoja puolia.

Jotta keskijännitteestä saataisiin kuluttajalle käyttökelpoista, tarvitsee se muuttua pienjännitteeksi. Muuntajan valintaan liittyviä asioita työssä on tutkittu teho- ja mittamuuntajien taholta. Muuntajien valinnassa tarvitsee noudattaa alueen sähkölaitoksen asettamia teknisiä vaatimuksia.

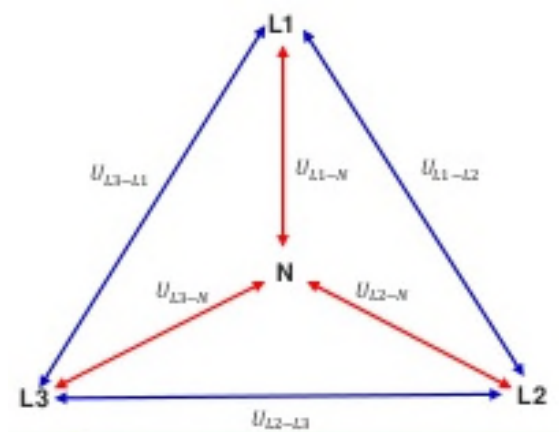
Kojeisto sekä muuntaja tulee suojata erilaisilta vika- ja häiriötilanteilta. Suojalaitteita ja niiden asetteluarvoja työssä on pyritty tutkimaan eri sähkölaitosten asettamien vaatimusten mukaisesti.

Käyttöturvallisuuden takaamiseksi täytyy jakelujärjestelmä maadoittaa huolellisesti. Työssä on kiinnitetty erityistä huomiota keskijännitejakelujärjestelmän maadoittamiseen liittyviin asioihin.

Suurien jännitteiden käyttö vaikuttaa myös muihin suunnittelualoihin. Työssä näitä vaikutuksia muihin suunnittelualoihin on tutkittu rakenteiden sekä ilmaston osalta.

2 KESKIJÄNNITELIITTYMÄ

Jakeluverkot voidaan jakaa keskijännite- ja pienjänniteverkkoihin. Keskijännite on Suomessa useimmiten 20kV. Jännitetasoista puhuttaessa tarkoitetaan aina kolmivaihejärjestelmän kahden vaiheen välistä pääjännitettä. Vaiheen ja maan välinen vaihejännite saadaan jakamalla pääjännite luvulla neliöjuuri kolme. Kuvassa kolmion muodostavat osoittimet ovat pääjännitteitä ja keskeltä kulmiin osoittavat vaihejänniteitä.



KUVA 1. Kolmivaihejärjestelmän jännitteet.

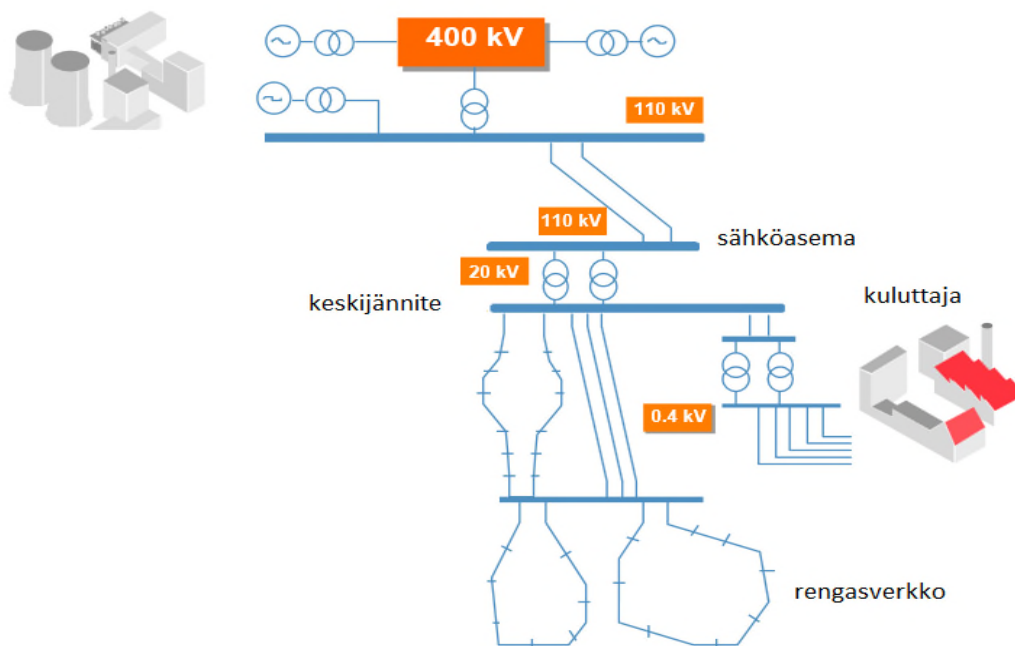
20kV jännitteellä vaihejännitteeksi saadaan.

$$20kV \div \sqrt{3} = 11.547kV.$$

Kaava 1. vaihejännite

Keskijänniteverkko rakennetaan aina rengasverkoksi. Tämä tarkoittaa sitä, että kojeisto voidaan syöttää kahdella eri kaapelilla. Verkkoa kuitenkin käytetään ns. säteisverkona. Vika- tai korjaustilanteissa hyödynnetään rengasverkon toista sähkönsiirto reittiä. Tämä mahdollistaa katkeamattoman siirron kuluttajalle poikkeustilanteista huolimatta.

Joissakin tapauksissa sähkölaitos tarvitsee ylimääräisen keskijännitelähdön haarakaapelia varten. Ylimääräinen haarakaapeli tarvitsee oman liittymiskennon, joka on varustettava kuorma- tai varokekuormaerottimella. Ylimääräisestä kennosta aiheutuvista kustannuksista vastaa useimmiten sähköverkkoyhtiö.



KUVA 2. Sähköverkon rakenne.

Rengasverkon rakentaminen on jonkin verran hintavampaa kuin säteisverkon. Tilaaja tarvitsee rengasverkosta johtuen kojeistoon kaksi syöttökennoa sekä kaksi syöttökaapelia.

Keskijänniteliittymä on joissakin tapauksissa taloudellisesti perusteltu, mikäli kulutus on riittävän suuri. alla olevissa taulukoissa on havainnollistettu joidenkin suurien verkko-yhtiöiden liittymähintoja sekä keskijännitekojeiston hankinnasta aiheutuvia kuluja. Hinnat ja laskelmat ovat suuntaa antavia

Taulukko 1. Hintavertailu.

Verk- koyhtiö	PJ-liittymä 1000A	KJ-liittymä 1000kVA	KJ- kojeiston hinta	KJ-liittymä kojeisto	+	erotus
Elenia	83906,00 €	46410,00 €	60000,00 €	106410,00 €		22504,00 €
TSV	47370,00 €	45669,00 €	60000,00 €	105669,00 €		58299,00 €

Seuraavassa taulukossa on tarkasteltu pienjännite- ja keskijänniteliittymien hintaeroja. Hintoina on käytetty Tampereen sähköyhtiön tariffeja joissa pienjänniteliittymän tehomaksu on 1,73€/kW ja siirtomaksu 1,26snt/kWh. Keskijänniteliittymissä 1,22€/kW ja siirtomaksu 1,11snt/kWh.

Oletetaan kohteen kuluttavan sähköä vuodessa 3000MWh ja huipputehon olevan 800kW/kk.

Laskuissa ei ole otettu huomioon muuntajien häviöitä, jotka tässä esimerkkikohteessa ovat noin 4000€ vuodessa. Kiinteistöihin joissa on muuntamo, tarvitsee palkata myös käytönjohtaja. Näihin muuttujiin tässä laskussa ei ole kiinnitetty huomiota.

Taulukko 2. Vuosikulut

Liittymä	Pätötehomaksu / vuosi	Siirtomaksu / vuosi	Sähkölasku/vuosi
Pienjännite	16608,00 €	37800,00 €	54408,00 €
Keskijännite	11712,00 €	33000,00 €	44712,00 €
		Erotus	9696,00 €

Yleisesti sähköyhtiöt eivät toimita pienjänniteliittymiä kuin 1000A saakka. Tämä pakottaa suuret sähkönkäyttäjät liittymään keskijänniteverkkoon, vaikka se ei aina olisi-kaan kuluttajan kannalta paras vaihtoehto.

3 KESKIJÄNNITEKOJEISTO

Keskijännitekojeistot olivat aikaisemmin ilma, öljy tai valuhartsia eristeisiä. Tyypillistä näille oli suuri koko, ilmastosta ja olosuhteista riippuvainen toiminta, sekä heikosta suojauksesta johtuvat henkilö- ja paloturvallisuusriskit. Tämä tarkoitti suuria investointeja tiloihin ja rakennuksiin, suuria huoltokuluja sekä pitkiä käyttökatkoja.

Nykyään markkinoilla on suuri määrä eri valmistajien SF6-kaasulla eristettyjä kojeistoja. Näiden etuna voidaan pitää riippumattomuutta ilmastoon ja olosuhteisiin, pienempää kokoa sekä suurempaa henkilö- ja paloturvallisuutta.



KUVA 3. ABB Unigear ZS1 kojeisto

Jokaisella sähköverkkoyhtiöllä on omat tekniset vaatimukset keskijännitekojeistoille. Alla joitakin yleisimpiä sähkölaitosten teknisiin vaatimuksiin kuuluvia nimellisarvoja

Taulukko 3. Yleisiä nimellisarvoja.

Nimellisarvot

Käyttöjännite	20 kV
Nimellisjännite	24 kV
Nimellistaajuus	50 Hz
Nimellisvirta (kokoojakiskot)	630 A
Terminen virtakestoisuus (1 s) 24 kV	16 kA
Dynaaminen virtakestoisuus (max.) 24 kV	40 kA huippu
Vaihtojännitelujuus (50 Hz, 1 min)	50 kV
Syöksyjännitelujuus (1,2/50 μ s)	125 kV (huippu)

Useimmiten kojeistot varustetaan seuraavanlaisilla henkilöturvallisuutta parantavilla toiminnoilla:

1. Kiinteillä maadoituserottimilla.
2. Kaapelitilojen ovet avautuvat vasta, kun maadoituserotin on kytketty kiinni.
3. Valokaaripaineen purkaus tapahtuu hallitusti alas kojeiston taakse tai ylös vaarantamatta käyttöhenkilökuntaa, jolloin erillisiä kanavia tai luokkuja ei tarvita. Tarvittaessa kojeistoon on lisättävissä valokaarikanavisto.

Kaikkien kojeistoon asennettavien kuorma- ja varokekuormaerottimien tulee olla varustettuna maadoituserottimella, erottimien toiminta voidaan jakaa kolmeen vaiheeseen, jotka ovat: kiinni, auki, maadoitettu. Erottimet on lukittu siten, ettei niitä maadoitustilanteessa pysty kytkemään kiinni asentoon.

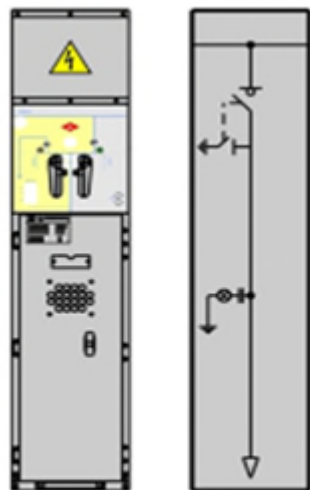
3.1 Kennotyypit

Keskijännitekojeisto voidaan rakentaa täysin tilaajan tarpeiden mukaan. Alla olevissa kappaleissa on selvitetty kiinteistösovelluksissa yleisimmin käytetyt kennotyypit sekä sivuttu muita olemassa olevia kennotyyppejä.

3.1.1 Liityntäkenno

Keskijännitekojeistot muodostuvat eri toiminnon omaavista kennoista. Kennot valitaan tilaajan ja kohteen tarpeiden mukaisesti. Kiinteistöihin asennettavat kojeistot vaativat rengassyötön takia kaksi syöttökennoa, jotka varustetaan omilla kuormaerottimilla. Kuormaerottimet tulee varustaa DC moottorilla.

Alla olevassa kuvassa on eräs ABB:n valmistama syöttökennoksi kelpaava malli.



Mitat ja paino:
 L3: 375x1050x1700, 190kg
 L5: 500x1050x1700, 210kg

KUVA 4. ABB liityntäkenno.

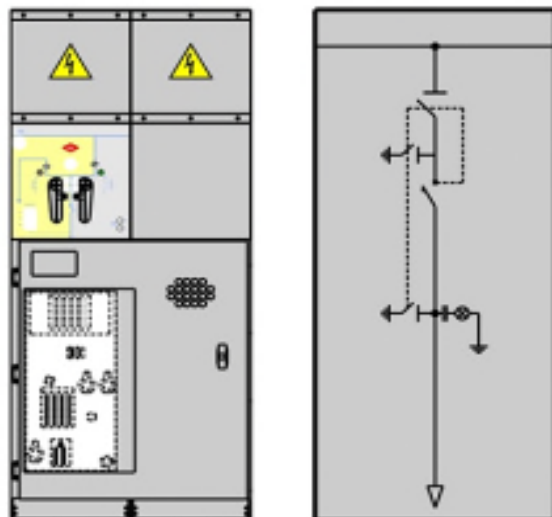
Sähkölaitokset suosittelevat käyttämään kojeistoissa vähintään 500mm leveitä liityntäkennoja. Kennot varustetaan kuormaerottimen lisäksi oikosulkuilmaisimella sekä jännitteisyyden indikoinnilla.

3.1.2 Katkaisijakenno

Kojeiston toiminnan ja turvallisuuden varmistamiseksi tarvitaan myös katkaisijakenno. Katkaisijakenno varustetaan aina pääerottimella. Kennon tulee olla varustettu myös pääkatkaisijalla silloin, kun kojeistoon kytketään useampi muuntaja tai keskijännitesulakkeen koko ylittää 63A. Pääkatkaisijaa pystytään ohjaamaan erilaisilla suo-jalaitteilla.

Mentäessä yli 63A keskijännitesulakkeisiin ei verkon oikosulkuvirta välttämättä riitä sulakkeen palamiseen, tällöin pääkatkaisijan lisääminen on perusteltua.

Kuvassa ABB:n valmistama katkaisijakenno. Kennossa ensimmäisenä pääerotin, jonka jälkeen pääkatkaisija



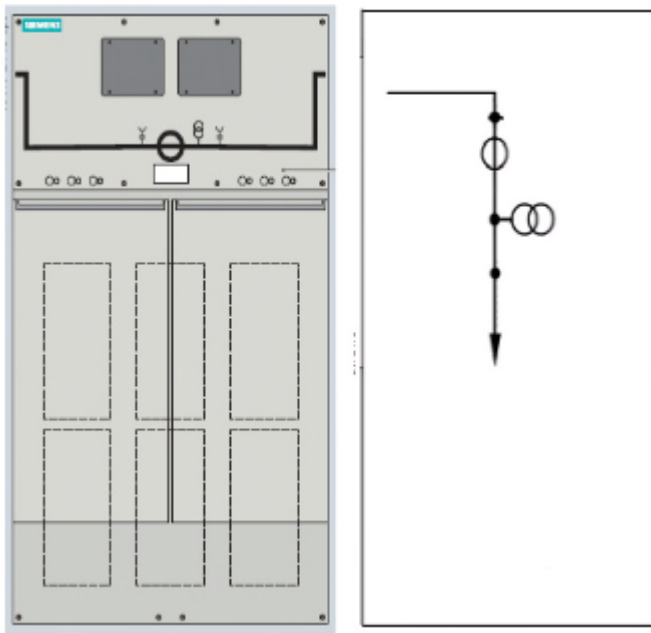
Mitat ja paino:
PG: 750x1230x1700, 320kg

KUVA 5. Esimerkki katkaisijakennosta.

Pääkatkaisijan määrittämiseen liittyvät arvot löytyvät sähkölaitosten laatimista teknisistä vaatimuksista.

3.1.3 Mittauskenno

Sähköenergian mittaamiseen valitaan tarpeiden mukainen mittauskenno. Mittauksessa käytetään kolmea virta- ja kolmea jännitemuuntajaa. Virtamuuntajat asennetaan kaikkiin vaiheisiin. Jännitemuuntajien ensiöpiireissä ei saa käyttää erotinta tai suurjännitevarokkeita. Jännitemuuntajien ja liitäntöjen tulee sijaita energian kulkusuunnassa ennen virtamuuntajia. Mittamuuntajia valittaessa tulee varmistaa verkkoyhtiöltä termien ja dynaaminen oikosulkukestoisuus.

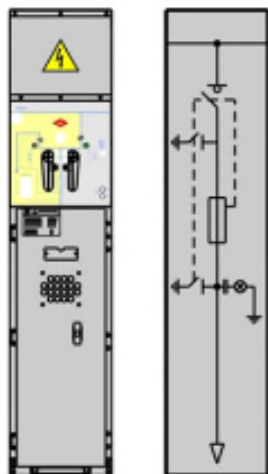


KUVA 6. Siemensin valmistama mittauskenno.

3.1.4 Muuntajakenno

Keskijännitekojeisto tarvitsee myös muuntajakennon. Muuntajakennosta löytyy varokeuormaerotin, jolla ohjataan muuntajalle lähtevää syöttöä. Kyseisiä kennoja tarvitaan yleisimmin yhdestä kahteen kappaletta, riippuen muuntajien lukumäärästä.

Kuvassa ABB:n valmistama muuntajalähtökenno.



Mitat ja paino:
 F3: 375x1050x1700, 230kg
 F5: 500x1050x1700, 245kg

KUVA 7. muuntajakkeno

Kaikkien kuorma- ja varokekuormaerottimien tulee olla varustettuna maadoituserottimella, erottimien toiminta voidaan jakaa kolmeen vaiheeseen, jotka ovat: kiinni, auki, maadoitettu. Erottimet on lukittu siten, ettei niitä maadoitustilanteessa pysty kytkeämään kiinni asentoon.

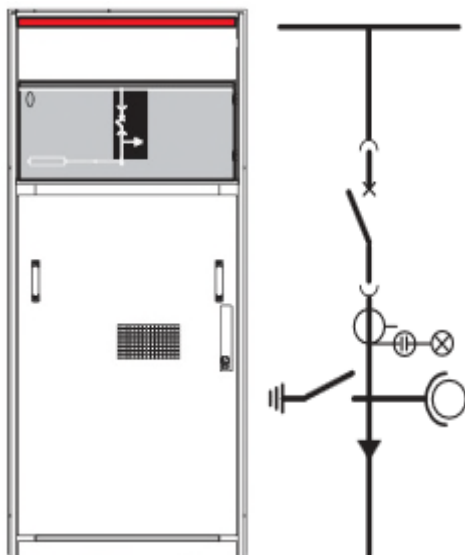
Muuntajakennot tulee varustaa varokekuormaerottimen lisäksi jännitteisyyden indikoinnilla.

3.1.5 Muut

Kappaleessa sivutaan hieman muita yleisimpiä kennotyyppejä, jotka eivät välttämättä sovellu kiinteistökohteisiin.

3.1.5.1 Vaunukatkaisijakenno

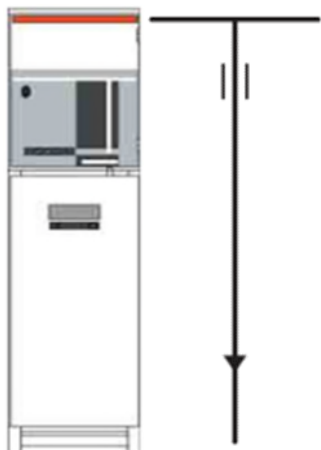
Vaunukatkaisijakenno on suunniteltu sähkönjakelun, moottoreiden, jakelumuuntajien ja kondensaattorien jne. kytkemiseen ja suojaukseen. Katkaisijakenno voidaan varustaa tyhjö- tai SF6-eristeisellä katkaisijalla. Näkyvä avausväli saadaan aikaan siirtämällä katkaisija erotusasentoon ja erillistä erotinta katkaisijan ja kokoojakiskoston välissä ei tarvita kuten kiinteissä versioissa. Kaapelit voidaan maadoittaa erillisen maadoituskytkimen avulla. Vaunukatkaisijakenno ei sovellu kiinteistösovelluksiin. /1/



KUVA 8. Vaunukatkaisijakenno.

3.1.5.2 Kaapeliliityntäkenno

Kaapeliliityntäkennoa voidaan käyttää silloin kun keskijännitekaapelit halutaan kytkeä suoraan kokoojakiskostoon. Saman periaatteen mukaan toimii myös kiskonousukenno.



KUVA 9. Kaapeliliityntäkenno.

3.2 Kotelointi

Kojeistot ryhmitellään ulkokuoren materiaalin perusteella metallikuorisiin (metal enclosed) ja eristysainekuorisiin (insulation enclosed) kojeistoihin. Valtaosa jakelukojeistoista on kuitenkin metallikuorisia kojeistoja. /2/

3.2.1 Kennokoteloitu (cubicle)

Kojeisto on metallikuorinen, mutta osastointia ei ensiökojeiden osalta vaadita, ei edes eri kennojen välillä, vaan koko kojeiston ensiöpuoli voi olla samaa tilaa ilman tiiviitä läpivientejä. Yleensä kuitenkin kennokoteloituista puhuttaessa kokoojakiskot, toisiokojeet ja katkaisija/mittamuuntajat/kaapelipääte ovat kennoittain omiin osastoihin erotettuina kokoojakiskoston ollessa silti yhtenäinen tila koko kojeiston osalla. /2/

Kokoojakiskolla tarkoitetaan kojeiston yhteistä kiskostoa jolla eri kennot liitetään yhteen.

Toisiokojeita ovat esimerkiksi mitta- ja suojalaitteet sekä muut matalammalla jännitteellä toimivat laitteet.

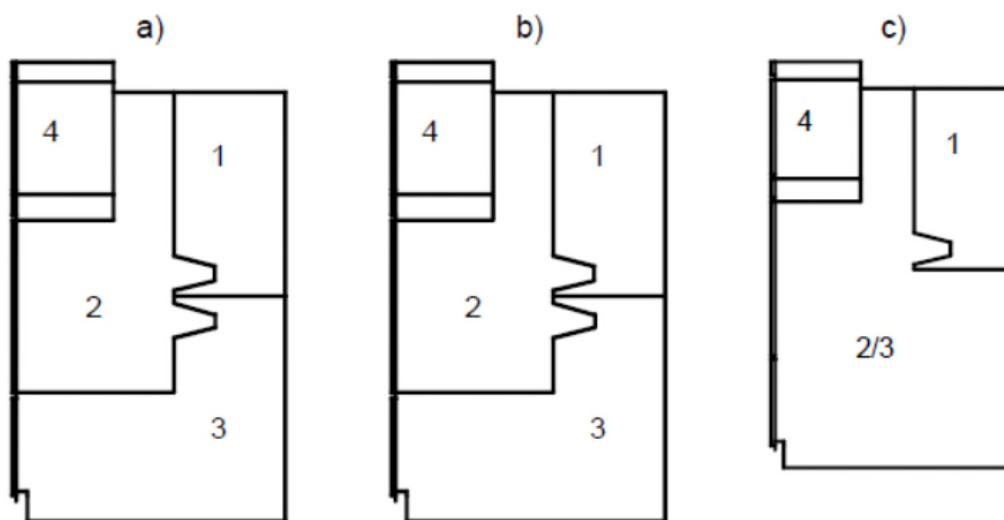
3.2.2 Metallikoteloitu

Kokoojakiskot, toisiokojeet, katkaisija ja mittamuuntajat/kaapelipääte ovat eri osastoissa. Läpivienneissä katkaisijalta kiskoihin ja lähdön mittamuuntajille/kaapelipäätteelle on sulkulevyt, jotka ohjautuvat automaattisesti esim. vaunun liikkeestä. /2/

3.2.3 Tilakoteloitu (compartmented)

Kuten metallikoteloitu, mutta osastointi on tehty joko kokonaan tai osittain eristävästä materiaalista. Kojeisto on aina varustettava metalliovellalla. /2/ Tilakoteloitu on yleisimmin käytetty suuren henkilöturvallisuuden johdosta. Osastointi rajoittaa esimerkiksi valokaaren leviämistä osastosta toiseen.

Kuvassa on havainnollistettu kotelointiluokkia.



Kotelointiluokat esitettynä a) metallikoteloitu, b) tilakoteloitu, c) kennokoteloitu. 1 kokoojatila, 2 katkaisijatila, 3 lähtötila, 4 toisiokojetila.

KUVA 10. Kotelointiluokat.

3.3 Eristys

Keskijännitekojeisto on mahdollista hankkia kahdella eri eristystavalla, jotka ovat ilma ja SF₆-kaasu. Muita eristystapoja ei ainakaan vielä ole markkinoilla.

Eristystavalla tarkoitetaan sitä ainetta tai kaasua, joka ympäröi kojeiston jännitteisiä osia.

3.3.1 SF₆-kaasu

Rikkiheksafluoridia (SF₆) käytetään eristysaineena kojeistoissa sekä katkaisijoissa valokaaren sammutukseen. SF₆ on elektronegatiivinen kaasu, jonka sähköneristyskyky ilmaan nähden on noin kolme kertaa suurempi kuin ilman. Se on palamaton, myrkytön, hajuton ja kemiallisesti passiivinen ja omaa 3 - 4 kertaa ilmaa paremman

valokaaren sammukskyvyn, kun verrataan ominaisuuksia samassa paineessa. Tavallinen kaupallinen SF6-kaasu ei kuulu vaarallisiin aineisiin eikä siksi sisälly vaarallisten aineiden asetuksiin eikä teknisiin määräyksiin. [/3/](#)

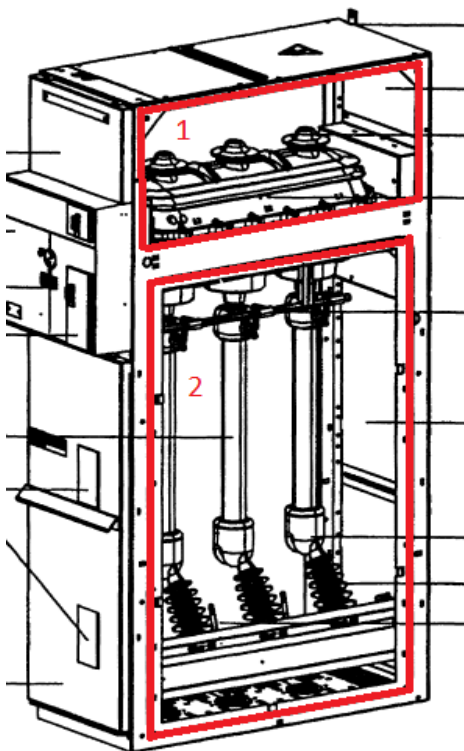
SF6-kaasu on kuitenkin ilmaston lämpenemisen kannalta haitallinen aine, sillä se määrittellään kasvihuonekaasuksi.

Kaasueristeisillä kojeistoilla on standardoitu rakenne. Kojeistot ovat laserhitsattuja ja varustettu hyvillä paineen purkausjärjestelyillä, lisäksi niihin on tehtäällä asennettu toimintakunnon ilmaisin, joka helpottaa kojeiston kunnossapidon havainnointia.

Alla olevassa kuvassa on havainnollistettu kojeiston alueita johon SF6-kaasu pumpataan.

Kaasualueet riippuvat vahvasti siitä, minkä tyyppinen kojeisto kulloinkin valitaan. Kojeistotyyppistä huolimatta lähestulkoon aina kokoojakiskosto on yhtenäinen, kaasulla täytettävä tila. Kaasulla täytettyjen kojeiston osioiden paine on noin 1,5bar.

Kuvassa numerolla 1 on merkitty kiskotila ja numerolla 2 kaasueristeinen varokekuormaerotin, molemmat tilat täytetään tässä tapauksessa SF6-kaasulla. Kojeiston tyyppistä riippuen on mahdollista, että pelkkä kokoojakiskosto (1) on SF6-kaasulla eristetty. Ilmaeristeisiin kojeistoihin on mahdollista hankkia SF6-kaasulla eristettyjä erottimia sekä katkaisijoita, jolloin kiskotila on ilmaeristeinen.



KUVA 11. Kennon osat, jotka täytetään SF6-kaasulla.

3.3.2 Ilma

Maailmanlaajuisesti käytetty ja hyväksi todettu teknologia jo yli 100 vuoden ajan. Ilmaeristeiset kojeistot eivät vaadi kaasun käsittelyä työmaalla. Kaikkiin kytkinkennottiin on helposti päästävissä. Lisäksi kojeistoa on helppo laajentaa tulevaisuuden tarpeiden mukaan. Sovellettavissa paikallisiin- ja erikoisvaatimuksiin. [/4/](#)



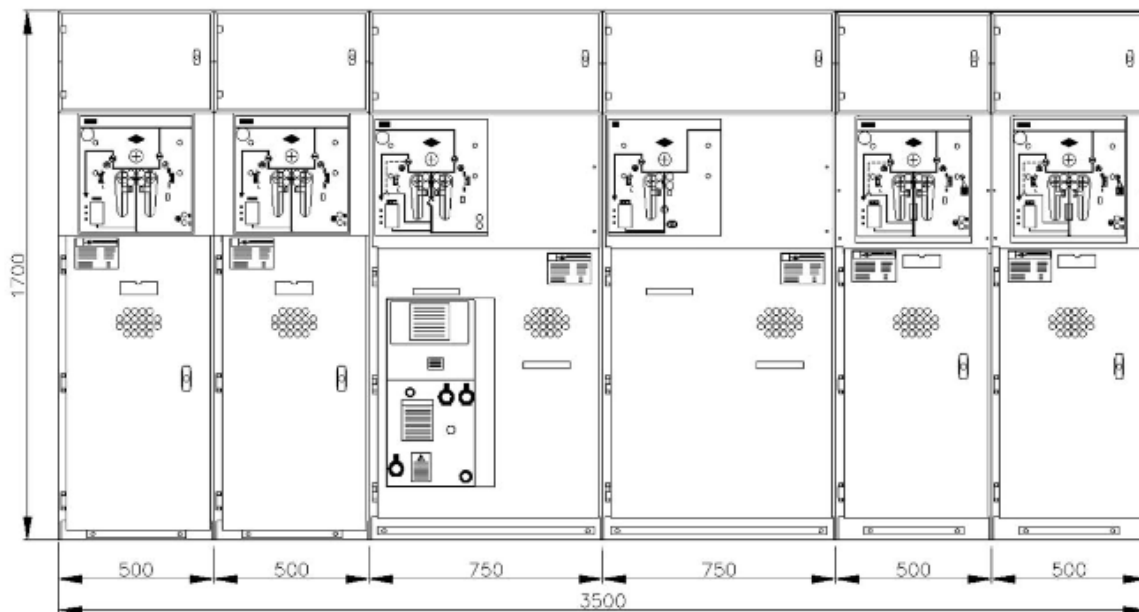
KUVA 12. ilmaeristeinen Uniswitch keskijännitekojeisto.

Ilmastosta riippuvat käyttökatkot johtuvat siitä, ettei ilmaristeistä kojeistoa ole hermeettisesti suljettu. Tämä tarkoittaa sitä, että kojeiston kiskotilat voivat joissakin tapauksissa olla alttiita ilmankosteudelle sekä pölylle. Tästä voi aiheutua huomattavia ongelmia kuluttajalle. Ilmaeristeisen huonoiksi puoliksi voidaan katsoa hieman suurempi koko sekä alttius ilmastosta riippuville käyttökatkoille.

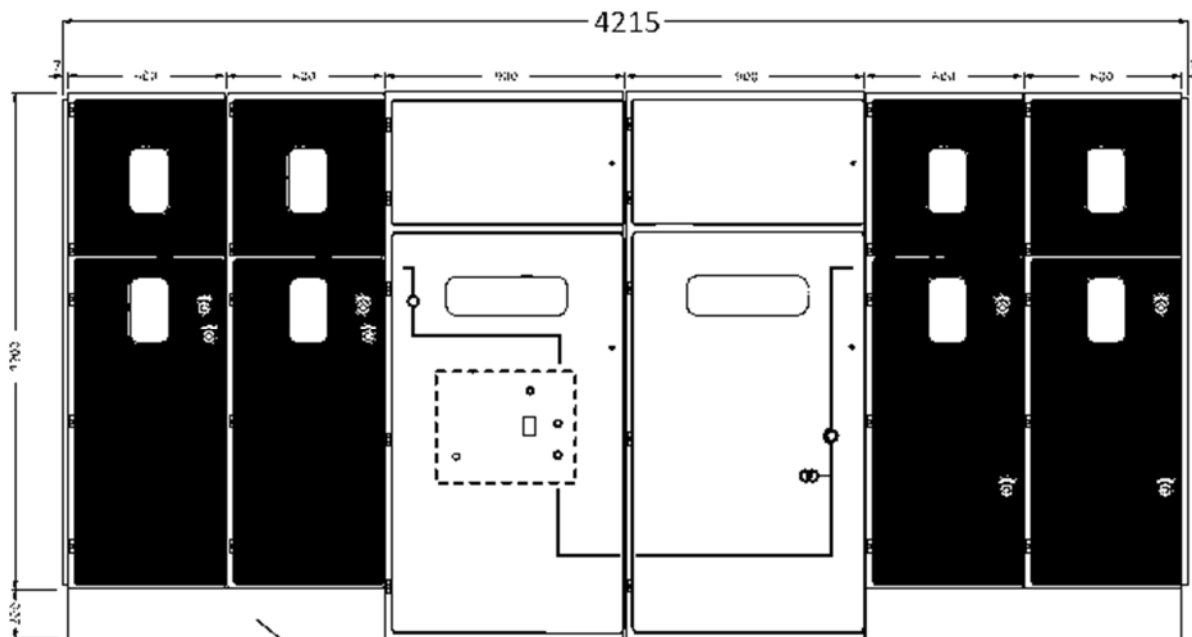
3.3.3 Yhteenveto

Yleisesti voidaan todeta, että ilmaeristeinen kojeisto on edullisempi ja helpommin laajennettavissa, mutta se vaatii enemmän tilaa kojeistotilasta.

SF6-eristeisen kojeiston etuna voidaan pitää pienemmän kokonsa lisäksi suurempaa käyttövarmuutta, pidempää käyttöikää sekä varmempaa henkilö- ja paloturvallisuutta. Nykypäiväisellä sensoriteknologialla varustetun ilmaeristeisen kojeiston vaatima tila on kuitenkin vain n. 15 % suurempi kuin vastaavan SF6-kaasueristeisen.



KUVA 13. Esimerkki SF6-eristeisen kojeiston vaatimasta tilasta.



KUVA 14. Ilmaeristeisen kojeiston vaatima tila

3.4 Varusteet

Suurimpien sähkölaitosten alueella kiinteistöihin asennettavat keskijännitekojeistot tulee varustaa jännitteisyyden ja vaiheistuksen indikoinnilla sekä kaasunpainemittarilla.

3.4.1 Jännitteisyyden ja vaiheistuksen indikointi

Kojeisto varustetaan jännitteisyyden ilmaisimella. Ilmaisimen tehtävä kaikessa yksinkertaisuudessaan on ilmaista kojeiston jännitteisyys.

Kuvan laite ilmaisee sekä vaiheistuksen että jännitteisyyden. Salama laitteen näytöllä tarkoittaa jännitteisyyttä. Laite ilmaisee kojeiston oleva jännitteinen kun $U_n > 0,45 \times U_n$. Laitteeseen on saatavilla vielä erilliset led lamput jännitteisyyden ilmaisemiseen.



KUVA 15. Wega 1.2 C jännitteisyydenilmaisim.

Technical Data	WEGA 1.2 C vario
Nominal frequency	50 – 60 Hz
Interface	3 LRM test sockets (one for each phase) and 1 earth socket
Indication	LCD display with arrow, dot and wrench too
Power supply	<ul style="list-style-type: none"> ■ No auxiliary voltage needed ■ LCD display: fed by measuring voltage
Temperature range	-25 to +65 °C
Housing	Polycarbonate, IP54

KUVA 16. Wega 1.2 C tekniset tiedot.

Jännitteisyydenilmaisimien asennetaan kojeiston kaikkiin kennoihin joihin tulee tai joista lähtee kaapeleita.

3.4.2 Kaasunpainemittari

Kaasunpainemittarin tarkoitus on valvoa kojeiston sisäistä painetta. Vikatilanteissa mittarilta on mahdollista saada kolme eritasoista hälytystä painetason mukaan.

Kaasunpainemittari tarvitaan vain SF₆-eristeisissä kojeistoissa. Ilmaeristeisen kojeiston sisäistä painetta ei ole syytä valvoa erillisellä painemittarilla, sillä se on ympäröivässä ilmanpaineessa.



KUVA 17. Kaasunpainemittari.

4 MUUT KOMPONENTIT JÄRJESTELMÄSSÄ

Suurimpien sähkölaitosten vaatimusten mukaisesti kojeiston syöttö- ja liittymiskennot tulee varustaa oikosulkuilmaisimella.

Oikosulkuilmaisimen tehtävä kojeistossa on havaita, ilmaista ja viestiä oikosulusta verkkoyhtiölle.



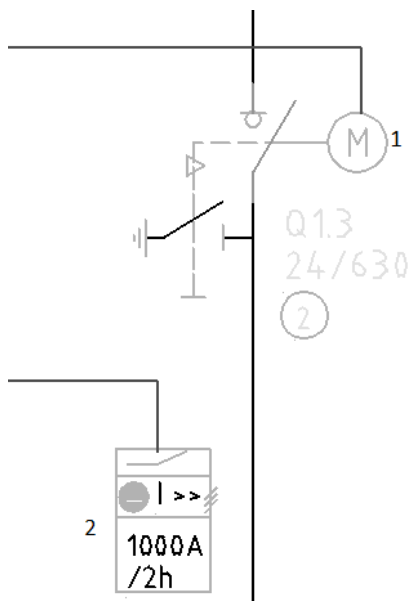
KUVA 18. Horstmann oikosulkuilmaisin

Technical Data	SIGMA
Short-circuit indicator	■
I _{>>} Short-circuit trip current	(100), 200, 300, 400, 600, 800, 1,000 A, fixed settings Auto-setting as a function of the operating current (I _L): I _L < 100 A ⇒ I _{>>} = 400 A, I _L > 100 A ⇒ I _{>>} = 4 × I _L
t _{I>>} Response delay	40 ms, 80 ms
Accuracy	±15 %
Indication	3 red LEDs: 3 x short circuits (L1, L2, L3)
Reset	<ul style="list-style-type: none"> ■ Manual reset ■ Automatic time reset: 1, 2, 4, 8 h, adjustable ■ Remote reset
Remote signal	1 Relay contact
Relay contact	Potential-free permanent and momentary contact (1 s), adjustable Contact capacity: 230 V AC/1 A/62.5 VA max. 220 V DC/1 A/60 W max.
Power supply	Long-life lithium cell, lifetime ≥20 years, >1,000 h total flashing time Optional: external power supply, incorporated in the device: 12 – 60 V DC
Housing	Polycarbonate, IP40 (plug-in housing), IP65 (add-on housing)
Temperature range	-30 to +70 °C

KUVA 19. Horstmann oikosulkuilmaisimen tiedot.

Oikosulkuilmaisin kaapeloidaan verkkoyhtiön ohjausyksikköön. Vikatilanteissa oikosulkuilmaisimelta tuleva tieto käsitellään ohjausyksikössä. Ohjausyksiköllä pystytään käyttämään kennossa olevaa kuormaerotinta.

Alla olevassa kuvassa oikosulkuilmaisin on merkittynä numerolla 1 ja kuormaerotin ohjattava moottori numerolla 2.



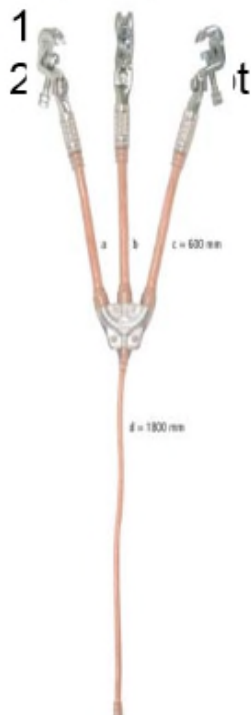
KUVA 20. Oikosuluilmaisain ja ohjattava kuormaerotin.

5 MUUT TARVIKKEET

Kojeisto- ja muuntamotiloista tulisi löytyä kuvien mukaiset irralliset turva- ja koestusvälineet.

Maadoituskaht
eet

23,7kA,



20kV
jännitteenilma
isin



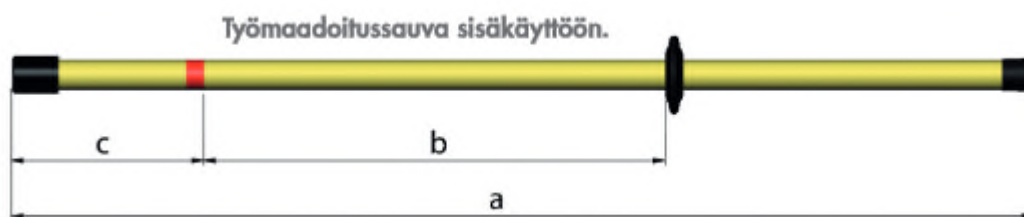
Turvakilvet
ja -ohjeet



KUVA 21. Muuntamon tarvikkeet

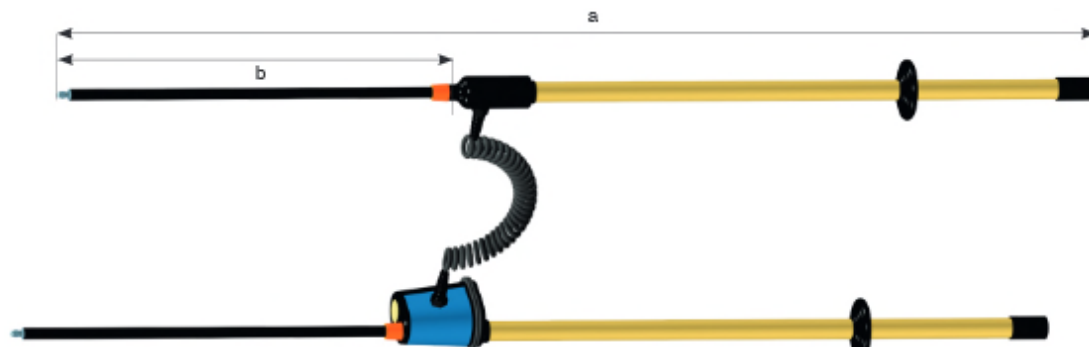
Lisäksi kojeistotilasta olisi hyvä löytyä työmaadoitussauva ja vaiheistuksen indikoiva työkalu.

Työmaadoitussauvaa käytetään työmaadoitusten asentamiseen



KUVA 22. Työmaadoitussauva

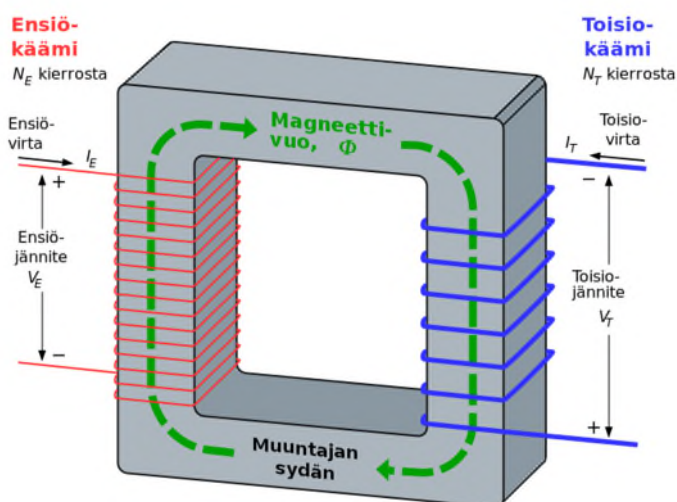
Vaiheistuksen indikoivatyökalu näyttää vaiheistuksen visuaalisesti



KUVA 23. Vaiheistuksen indikointityökalu.

6 MUUNTAJA

Muuntaja on sähkömagneettinen laite, joka muuttaa vaihtosähkön jännitteen tai virran toiseksi saman taajuiseksi jännitteeksi tai virraksi. Yksinkertaisessa muuntajassa saman rautasydän ympärillä on kaksi toisistaan eristettyä käämiä, ensiökäämi ja toisiokäämi. Energia siirtyy virtapiiristä toiseen käämien välisen keskinäisinduktanssin välityksellä: ensiökäämissä kulkeva vaihtovirta synnyttää rautasydämeen muuttuvan magneettivuon. Se puolestaan indusoi toisiokäämin napoihin sen kierrosmäärää vastaavan jännitteen.



KUVA 24. Muuntajan toimintaperiaate.

Muuntajan muuntosuhde määräytyy ensiökäämin ja toisiokäämin johdinkierrosten lukumäärän suhteena.

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{I_2}{I_1},$$

Kaava 2. Muuntosuhde

Missä U_1 on ensiökäämin jännite, U_2 toisiokäämin jännite, N_1 ensiökäämin kierrosten lukumäärä, N_2 toisiokäämin kierrosten lukumäärä, I_1 on ensiökäämin virta ja I_2 toisiokäämin virta.

Muuntajan impedanssi

Ensiökäämin impedanssi, joka ideaalisessa käämissä aiheutuu yksinomaan sen induktanssista, on yhtä suuri kuin piirin jännitteen ja siinä kulkevan virran suhde, ja edellä olevasta yhtälöstä seuraa, että tämä impedanssi on verrannollinen käämin kierrosluvun neliöön. Jos toisiopiirissä kulkevaan virtaan kohdistuu impedanssi Z_2 , tämä näkyy ensiöpiirin puolelta mitattuna impedanssina Z'_2 . [/5/](#)

$$Z'_2 = Z_2 \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^2$$

Kaava 3. Muuntajan impedanssi

6.1 Erityyppiset muuntajat

Muuntajat voidaan niiden tehtävien perusteella jakaa seuraaviin ryhmiin:

1. Tehomuuntajat, joiden tehtävänä on muuntaa jännite toiseksi jännitteeksi sähköenergian siirron vaatimien tarpeiden mukaisesti.
2. Suojamuuntajat, joiden tehtävänä on eristää jokin sähkölaite yleisestä sähköverkosta.
3. Mittamuuntajat eli jännite- tai virtamuuntajat, joiden tehtävänä on muuntaa jännite tai virta mittakojeille tai releille sopivaan arvoon.

Tehomuuntajat voidaan jaotella rakenteensa perusteella seuraavasti:

paisuntasäiliölliset öljyeristeiset muuntajat, hermeettiset muuntajat, valuharts- ja ilmaeristeiset kuivamuuntajat. Nykyään käytetyistä voimamuuntajista pääosa on öljyeristeisiä muuntajia. Hermeettisesti suljetussa muuntajassa verrattuna öljyeristeiseen muuntajaan ei ole paisuntasäiliötä. [/6/](#)

Tässä järjestelmässä käytetään teho- ja mittamuuntajia, joiden toimintaan sekä valintaan liittyviä asioita käydään tulevilla kappaleilla hieman tarkemmin lävitse.

6.1.1 Mittamuuntaja

Sähköenergian mittaamiseen suurilla jännitteillä sekä virroilla tarvitsee käyttää mittamuuntajia. Mittamuuntajilla saadaan luotettavasti muutettua jännitteen tai virran arvoja mitta- ja suojalaitteille sopiviksi.

6.1.1.1 Virtamuuntaja

Tampereen sähkölaitoksen teknisissä vaatimuksissa mainitaan seuraavat asiat virtamuuntajista

Taulukko 4. Virtamuuntajan vaatimukset

Nimellisvirta:	
- ensiövirta	Tilaustehon mukaan, pyöristys seuraavaan standardiarvoon
- toisiovirta	5 A
- tarkkuusluokka	0,2 S
- tarkkuusrajakerroin F_s	≤ 5
- Mitoitustaakka (todellinen taakka alueella 0,25 ... 1 x mitoitustaakka)	~ 2-5 VA

Tarkkuusrajakertoimella F_s tarkoitetaan mittarivarmuuskerrointa, joka kertoo kuinka suurella kertoimella muuntaja toistaa virtaa nimellisvirtaansa nähden.

Virtamuuntaja suojaa siihen kytkettyjä mittareita ylivirroilta sitä paremmin, mitä pienempi mittarivarmuuskerroin on. /7/

Mittaussydämen tarkkuusluokat määrittävät suurimmat sallitut virta- ja kulmavirheet TSV kojeistoihin tulee asentaa 0,2 S tarkkuusluokan omaava virtamuuntaja.

Virtamuuntajien mittaustarkkuuden pysyttämiseksi niiden arvokilvessä ilmoitetun tarkkuusluokan rajoissa, tulee käyttötaakan olla 25...100 % virtamuuntajan mitoitus- eli nimellistaakasta. /8./

Mittamuuntajan määrittäminen. Laskussa käytetyn mittarin aiheuttama taakka on 0,16VA. Oletetaan mittajohtimien pituudeksi 3m ja paksuudeksi $2,5\text{mm}^2$. Kyseisen kuparijohtimen paksuudesta aiheutuva taakka on 0,18VA/m

Taulukko 5. mitoitustaakka.

Komponentti	Lasku	tulos
Esimerkki mittari	0,16VA	0,16 VA
mittajohdin 2,5mm (2*3m)	$2*3\text{m}*0,18\text{VA}/\text{m}$	1,08 VA
Liitoksista aiheutuva resistanssi	0,08VA	0,08 VA
	mitoitustaakka	1,32 VA

Taulukon mukaisen tapauksessa virtamuuntajan nimellistaakan tulee siten olla:

$$(1,32 \div 25 \dots 100\%) \times 100\% = 1,32\text{VA} - 5,28\text{VA}$$

Kaava 4. Mitoitustaakka.

Käyttöön voitaisiin tässä tapauksessa ottaa joko 2,5 VA tai 5 VA virtamuuntajat.

Ellei johtimista ja mittareista kerry riittävän suurta taakkaa, voidaan joutua asentamaan sarjavastuksia.

Virtamuuntajan muuntosuhde määräytyy mitattavan kohteen läpikulkevasta virrasta sekä toisiopuolelta tarvittavasta virrasta.

Tässä esimerkki kohteessa on kaksi 800kVA tehomuuntajaa. Mittalaitteille tarvitaan 5A virta. Virtamuuntajan ensiövirraksi muodostuu siis:

$$I = 2 \times (800000\text{VA} \div (\sqrt{3} \times 20000\text{V})) = 46\text{A}$$

Kaava 5. Ensiövirta

Valitaan laskun tulosta lähimpänä oleva muuntosuhde eli 50/5A.

Taulukko 6. muuntosuhde

Teho [kVA]	Virta [A]	Ensiö [A]	Toisio [A]
600,00	17,32	20,00	5,0

700,00	20,21	25,00	5,0
800,00	23,09	25,00	5,0
900,00	25,98	30,00	5,0
1000,00	28,87	30,00	5,0
1100,00	31,75	35,00	5,0
1200,00	34,64	35,00	5,0
1300,00	37,53	40,00	5,0
1400,00	40,41	45,00	5,0
1500,00	43,30	45,00	5,0
1600,00	46,19	50,00	5,0

6.1.1.2 Jännitemuuntaja

Jännitemuuntajan tehtävänä on muuntaa ensiöpiirin jännite toisiokojeille sopivan suuruiseksi ja eristää ensiö- ja toisiopiirit toisistaan.

Jännitemuuntajassa voi olla yksi tai kaksi toisiokäämiä samalla sydämellä. Käämi voi olla joko mittauskäämi, suojauskäämi tai avokolmiokäämi. Erityyppisille käämeille määritellään standardeissa omat tarkkuusvaatimuksensa. /7/

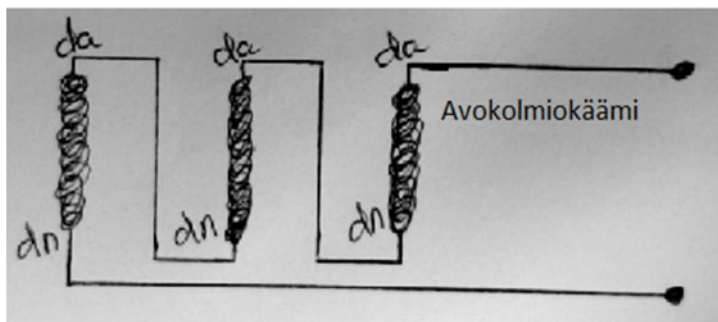
Tampereen sähkölaitoksen tekniset vaatimukset jännitemuuntajille:

Taulukko 7. Jännitemuuntajan vaatimukset.

Nimellisjännite	
- Ensiöjännite	20 000:√3 V
- Toisiojännite, mittauskydän	100:√3 V
- Toisiojännite, suojauskydän (avokolmio)	100:3 V
- Mitoitusjännitekerroin	1,2 x U_n jatkuva / 1,9 x 8 h
- Tarkkuusluokka, mittauskydän	0,2
- Tarkkuusluokka, suojauskydän (avokolmio)	3P
- Mitoitustaakka (todellinen taakka alueella 0,25 ... 1 x mitoitustaakka)	
o mittauskydän	~ 5 -25 VA
o suojauskydän (avokolmio)	~ 5 -25 VA

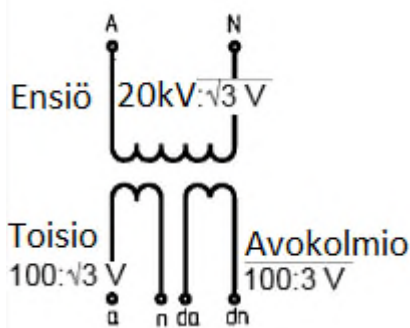
Mitoitusjännitekertoimen ja mitoitusensiöjännitteen U_n tulo ilmoittaa suurimman ensiöjännitteen, jolla muuntajaa on voitava käyttää tietyn ajan.

Avokolmiokytkentä on kolmiokytkentä, joka on yhdestä kulmasta avoin.



KUVA 25. Avokolmiokäämi

Jännitemuuntajan toisiokäämiltä saatavalla jännitteellä käytetään mittalaitteita. Avokolmiokäämillä suojataan muuntajan toisiopuolelle kytkettyjä laitteita.



KUVA 26. Jännitemuuntajan rakenne.

6.1.2 Öljymuuntaja

Neste-eristeiset muuntajat jaetaan yleisesti kahteen ryhmään, hermeettisesti suljettuihin muuntajiin ja paisuntasäiliöillä varustettuihin muuntajiin.

Hermeettisesti suljetussa muuntajassa nestettä sisältävä tila on ilmatiivis ja se on täytetty kokonaan eristenesteellä. Muuntajan säiliön seinämät antavat periksi, kun muuntajan eristysaineena käytetty öljy tai mahdollisesti myös jokin muu eristeneste laajenee muuntajan lämpötilan kohoamisen vaikutuksesta. Lämpötilan noustessa ja eristenesteen laajentuessa syntyy muuntajan säiliön seinämiin painetta, jolloin lämmön siirtyminen nestesäiliön aallotetusta metallikuoresta ulkoilmaan paranee. Aallotettu muuntajan säiliö tehostaa muuntajan jäähdytystä korkeammissa lämpötiloissa ja sallii säiliönrakenteen joustamisen muuntajan sisäisten painenvaihteluiden mukaan. Säiliön sisätilat ovat kokonaan eristetty ulkoilmasta, jolloin rakenne estää tehokkaasti myös hapen pääsyn muuntajasäiliöön. Tämän

vuoksi muuntajanesteen hapettuminen on hidasta ja säiliöön ei pääse ilmasta myöskään epäpuhtauksia. Huonoina puolina hermeettisestä muuntajasta voidaan mainita paineen aiheuttamat rasitukset muuntajarakenteisiin sekä kalliit eristenesteen vaihtamiskustannukset. Paisuntasäiliöllistä muuntajarakennetta käytetään nykyään lähinnä suurilla tehoalueilla ($> 2500kVA$). Paisuntasäiliöllisessä muuntajassa säiliön rakenne ei jousta, vaan eristenesteen tilavuuden muuttuessa ylimääräinen neste varastoituu paisuntasäiliöön. Paisuntasäiliön pinnan korkeus siis vaihtelee nesteen lämpötilan

ja laajenemiskertoimen mukaisesti. Tämä rakenne sallii muuntajanesteen tilavuuden muuttumisen vapaasti ilman muuntajasäiliöön kohdistuvia rasituksia ja näin ollen paine pysyy vakiona muuntajan sisällä. Muuntajan eristenesteen tilavuuden vaihdellessa paisuntasäiliössä, vaihtelee myös ilman määrä paisuntasäiliössä. Koska tässä rakenteessa ilma pääsee suoraan kosketukseen muuntajaöljyn kanssa, sitoutuu muuntajan eristeaineisiin happea, kosteutta ja erilaisia epäpuhtauksia. Tämä nopeuttaa puolestaan muuntajassa käytettävien eristeaineiden vanhenemisreaktioita ja vähentää niiden elinikää. [/8/](#)



KUVA 27. Öljyeristeinen jakelumuuntaja.

6.1.3 Kuivamuuntaja

Kuivamuuntajat on tarkoitettu käytettäväksi paikoissa, joihin öljytäytteistä muuntajaa ei voida asentaa, esim. palo tai saastumisvaaran takia, tai sen käyttäminen vaatisi kalliita erikoistoimenpiteitä. Kuivamuuntajat kestävät myös muita muuntajia paremmin hankalia olosuhteita ja ilmastonmuutoksia ja ovat käytännössä huoltovapaita. Kuivamuuntajat kestävät hyvin myös oikosulkuvoimia. Kuivamuuntajat ovat kuitenkin jonkin verran öljyeristeisiä kalliimpia, joten niiden käyttö ei ole niin suosiollista.

Kuivamuuntajia käytetään pääasiallisesti teollisuuslaitoksissa, joissa muuntaja voidaan asentaa tehdastilaan lähelle kuormaa ja säästetään siten alajännitepuolen kaapeleita. Kuivamuuntajien eristeenä käytetään usein valuhartsia. [/8/](#)



KUVA 28. ABB kuivamuuntaja

6.2 Häviöt

Muuntajat kuluttavat jonkin verran energiaa, jolloin syntyy rauta- ja virtalämpöhäviöitä. Rautahäviöihin ei vaikuta muuntajan kuormitus. Rautahäviöt P_r ovat hystereesi-häviöiden P_h ja pyörrevirtahäviöiden P_r summa. Resistiiviset häviöt kasvavat virran kasvaessa.

Virtalämpöhäviöt eli kuparihäviöt P_k esiintyvät muuntajan ensiö- ja toisiokäämityksien resistansseissa virtojen I_1 ja I_2 vaikutuksesta.

Muuntajaa valittaessa tulee huomioida eri häviöiden suuruus. Tampereen sähkölaitoksen asiakasmuuntamoiden vaatimuksissa mainitaan suurimmiksi sallituiksi häviöiksi.

$$P_r < 930W \text{ ja } P_k < 7000W$$

Euroopan unioni on laatinut muuntajien häviöistä direktiivin 2009/125/EY jossa määrittellään suurimmat enimmäishäviöt eri muuntajatyypeille.

Taulukko 8. Neste-eristeiset muuntajat.

Nimellisteho (kVA)	Vaihe 1 (1. heinäkuuta 2015 alkaen)		Vaihe 2 (1. heinäkuuta 2021 alkaen)	
	Enimmäiskuormitushäviöt P_k (W) (*)	Enimmäistyhjäkäyntihäviöt P_o (W) (*)	Enimmäiskuormitushäviöt P_k (W) (*)	Enimmäistyhjäkäyntihäviöt P_o (W) (*)
≤ 25	C_k (900)	A_o (70)	A_k (600)	$A_o - 10\%$ (63)
50	C_k (1 100)	A_o (90)	A_k (750)	$A_o - 10\%$ (81)
100	C_k (1 750)	A_o (145)	A_k (1 250)	$A_o - 10\%$ (130)
160	C_k (2 350)	A_o (210)	A_k (1 750)	$A_o - 10\%$ (189)
250	C_k (3 250)	A_o (300)	A_k (2 350)	$A_o - 10\%$ (270)
315	C_k (3 900)	A_o (360)	A_k (2 800)	$A_o - 10\%$ (324)
400	C_k (4 600)	A_o (430)	A_k (3 250)	$A_o - 10\%$ (387)
500	C_k (5 500)	A_o (510)	A_k (3 900)	$A_o - 10\%$ (459)
630	C_k (6 500)	A_o (600)	A_k (4 600)	$A_o - 10\%$ (540)
800	C_k (8 400)	A_o (650)	A_k (6 000)	$A_o - 10\%$ (585)
1 000	C_k (10 500)	A_o (770)	A_k (7 600)	$A_o - 10\%$ (693)
1 250	B_k (11 000)	A_o (950)	A_k (9 500)	$A_o - 10\%$ (855)
1 600	B_k (14 000)	A_o (1 200)	A_k (12 000)	$A_o - 10\%$ (1080)
2 000	B_k (18 000)	A_o (1 450)	A_k (15 000)	$A_o - 10\%$ (1 305)
2 500	B_k (22 000)	A_o (1 750)	A_k (18 500)	$A_o - 10\%$ (1 575)
3 150	B_k (27 500)	A_o (2 200)	A_k (23 000)	$A_o - 10\%$ (1 980)

Taulukko 9. Kuivaeristeiset muuntajat.

Nimellisteho (kVA)	Vaihe 1 (1. heinäkuuta 2015)		Vaihe 2 (1. heinäkuuta 2021)	
	Enimmäiskuormitushäviöt P_k (W) (%)	Enimmäistyhjäkäyntihäviöt P_o (W) (%)	Enimmäiskuormitushäviöt P_k (W) (%)	Enimmäistyhjäkäyntihäviöt P_o (W) (%)
≤ 50	B_k (1 700)	A_o (200)	A_k (1 500)	$A_o - 10\%$ (180)
100	B_k (2 050)	A_o (280)	A_k (1 800)	$A_o - 10\%$ (252)
160	B_k (2 900)	A_o (400)	A_k (2 600)	$A_o - 10\%$ (360)
250	B_k (3 800)	A_o (520)	A_k (3 400)	$A_o - 10\%$ (468)
400	B_k (5 500)	A_o (750)	A_k (4 500)	$A_o - 10\%$ (675)
630	B_k (7 600)	A_o (1 100)	A_k (7 100)	$A_o - 10\%$ (990)
800	A_k (8 000)	A_o (1 300)	A_k (8 000)	$A_o - 10\%$ (1 170)
1 000	A_k (9 000)	A_o (1 550)	A_k (9 000)	$A_o - 10\%$ (1 395)
1 250	A_k (11 000)	A_o (1 800)	A_k (11 000)	$A_o - 10\%$ (1 620)
1 600	A_k (13 000)	A_o (2 200)	A_k (13 000)	$A_o - 10\%$ (1 980)
2 000	A_k (16 000)	A_o (2 600)	A_k (16 000)	$A_o - 10\%$ (2 340)
2 500	A_k (19 000)	A_o (3 100)	A_k (19 000)	$A_o - 10\%$ (2 790)
3 150	A_k (22 000)	A_o (3 800)	A_k (22 000)	$A_o - 10\%$ (3 420)

6.3 Valintaperusteet

Kuten aikaisemmin todettiin, tulee kuivamuuntajan hankinta huomattavasti öljyeristeistä kalliimmaksi. Muuntajan valintaan vaikuttaa oleellisesti tila johon muuntaja ollaan hankkimassa. Öljyeristeistä muuntajaa ei saa asentaa palo- tai saastumisvaarallisiin tiloihin, tällöin on investoitava kuivamuuntajaan. Kuivamuuntaja tulee kyseeseen myös silloin, kun oikosulkutehot ovat suuria.

Suurimmilla sähkölaitoksilla on seuraavia vaatimuksia asiakasmuuntamoille:

1. kytkentäryhmä Dyn11 = Ensiöpuoli kytketty kolmioon ja toisiopuoli tähteen
2. lämpötilan valvontarele = lämpötilan valvonta sekä ylikuormitussuojaus.
3. lämpötilamittari
4. öljynkeruuallas
5. IP20,23 tai IP31 = Kotelointiluokka.
6. pieni häviöinen = Esimerkkitapauksessa $p_k < 7000W$ ja $p_0 < 930W$
7. hermeettisesti suljettu = Suljettu ilmatiiviisti.

7 SUOJAUS

Suojauksella pyritään estämään henkilö- ja laitteistovahinkoja. Nykyajan teknologialla siinä onnistutaan melko tehokkaasti. Kunnollisiin suojauslaitteisiin investoiminen kannattaa. Niillä saavutetaan suurempi käyttövarmuus ja vahingon sattuessa pystytään rajaamaan sekä minimoimaan sattuneet vauriot.

7.1 Kojeiston suojaus

Keskijännitekojeiston suojauksessa käytetään oikosulkuilmaisimia, ylivirtasuojauksia sekä valokaarireleitä. Oikosulkuilmaisimien avulla pystytään ohjaamaan syöttökennoissa olevia kuormaerottimia. Valokaarireleellä ohjataan kojeiston katkaisijakenossa sijaitsevaa pääkatkaisijaa sekä pienjännitepuolella olevia kiskokatkaisijoita.

Syöttökennoissa olevilla kuormaerottimilla pystytään katkaisemaan sähkönsyöttö kojeistolle syöttökennoittain, tarkoittaen vikatilanteessa sitä, että rengasverkon ansiosta sähkönsyöttö kojeistolle ei katkea, vaikka toinen syöttökaapeli olisikin vikaantunut. Valokaarireleiden ohjaamalla pääkatkaisijalla saadaan katkaistua sähkönsyöttö keralla sekä mittaus- että muuntajakannoilta.

Ylivirtasuojauksella tarkoitetaan pääkatkaisijan relettä ja sen toimintarajoja. Pääkatkaisijan releelle asetetaan halutut oikosulkuvirran I_k arvot, joissa releen pitää ohjata

katkaisija auki asentoon. Hidastetun laukaisun suurin sallittu toiminta-aika on 0.4 s ja pikalaukaisun 0.1 s.

Hidastetun laukaisun asetteluvirran pitää olla suurempi kuin muuntajien yhteenlaskettu nimellisvirta ylikuormitettavuus huomioon ottaen. Pikalaukaisuvirran pitää olla suurempi kuin muuntajien aiheuttama kytkentävirtasysäys ($\gg 10I_N$), jossa I_N = muuntajien yhteenlaskettu nimellisvirta.

Yleensä kytkentävirtasysäys on 7-10ertainen muuntajan nimellisvirtaan nähden. Esimerkiksi 2000kVA muuntajalla kytkentävirtasysäys on:

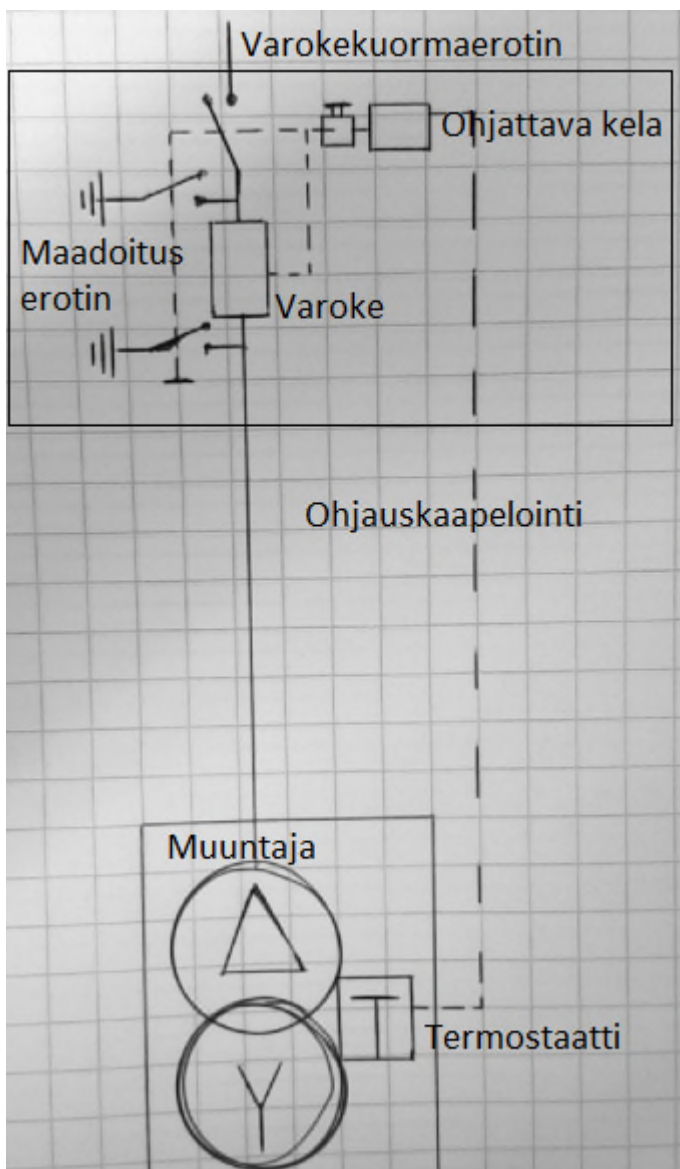
$$7 - 10 \times \left(2000\ 000VA \div (\sqrt{3} \times 20000V) \right) = 404 - 577A$$

Kaava 4. kytkentävirtasysäys.

7.2 Muuntajan ylikuormitussuojaus

Muuntaja on järjestelmän yksi tärkeimpiä komponentteja. Siksi sen suojaaminen vika-tilanteissa on todella tärkeää. Muuntajan suojauksessa voidaan käyttää erilaisia virran ja lämpötilan mittaamiseen perustuvia menetelmiä. Tämän järjestelmän muuntajat on suojattu ylikuormitukselta käämin lämpötilan mittaamiseen perustuvalla tekniikalla. Käämin lämpötilan noustessa kriittisen rajan yli ohjaa lämpötilamittarista tuleva signaali muuntajakennossa olevan varokekuormaerottimen auki asentoon, estäen muuntajan ylikuumentumisen. Muuntajan käämin liiallinen lämpeneminen johtuu yleisimmin ylikuormituksesta tai oikosulkuviasta.

Kuvassa varokekuormaerotin on merkitty numerolla 1 ja lämpötilamittari numerolla 2, ohjauskaapelointi on esitetty pistekatkoviivalla.



KUVA 29. varokekuormaerotin ja muuntaja

Muuntajien oikosulkusuojauksessa käytetään sulakkeita. Sulakkeiden koko määräytyy muuntajan ottaman virran mukaan. Sulakkeita valittaessa on huomioitava muuntajan kytkentävirta. Alla olevalla taulukolla saadaan sulakekoko helposti määritettyä.

Taulukko 10. Sulakkeen valinta

Sulakkeen valinta: IEC 60420

Käyttöjännite KV	Muuntajan teho [kVA]																
	57	75	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500
	Sulakkeen arvo (A) 1)																
3	25	25	40	40	63	63	63	80	100	100							
5	16	25	25	25	40	40	63	63	63	80	100	100					
6	16	16	25	25	25	40	40	63	63	63	80	100	100				
10	10	16	16	16	25	25	25	40	40	63	63	63	80	100	100		
12	10	16	16	16	16	25	25	25	40	40	63	63	63	80	100		
15	10	10	16	16	16	16	25	25	25	40	40	63	63	63	100	100	
20	10	10	10	16	16	16	16	25	25	25	40	40	63	63	63	80	
24	10	10	10	10	16	16	16	16	25	25	25	40	40	63	63	63	80

Yleisimmin keskijännitejakelujärjestelmään liitettävät muuntajat ovat teholtaan 400-1600kVA. Muuntajan ensiövirta saadaan jakamalla muuntajan näennäisteho $\sqrt{3}$ kertaa pääjännitteellä. Oletetaan muuntajan tehoksi 800kVA ja ensiöpuolen jännitteeksi 20kV.

$$S = \sqrt{3} * UI \rightarrow I = 800\,000VA \div (\sqrt{3} * 20\,000V) = 23A$$

Kaava 5. Näennäisteho

Muuntajan suojaus voitaisiin hoitaa myös differentiaalisuojauksella, eli erovirtamittaukseen perustuvalla tekniikalla. Differentiaalisuojauksessa mitataan muuntajan ensiöpuolelle menevät virrat ja verrataan niitä toisiopuolelta tuleviin virtoihin. Virtojen poiketessa tarpeeksi asetteluarvoista ohjaa differentiaalisuojan rele varokekuormerotin auki. Tämä on kuitenkin kallista, sillä erovirtojen mittaamiseksi tarvitsee hankkia kaksi mittamuuntajaa yhtä suojattavaa laitetta kohden.

7.3 Valokaari

Valokaari on fysikaalinen ilmiö, joka syntyy, kun kahden elektrodin välinen sähkökenttä nousee niin suureksi, että sähkövirta purkautuu (tavallisesti) sähköä heikosti johtavan materiaalin kuten ilman läpi. Voimakas sähkökenttä ionisoi ilman molekyylejä, joista siis tulee virran kulkemisen mahdollistavia varauksenkuljettajia, eli tavallisesti sähköä eristävä ilma muuttuu sähkövirtaa johtavaksi. Näin elektrodien välille syntyy sähköä johtava kanava, jota sähkövirran aiheuttama kuumuus ylläpitää. /9/

Valokaarivaurio kojeiston sisällä on pahin onnettomuus, joka voi sähkönjakelua tai sähkökäyttöjä kohdata. Valokaaret aiheuttavat aina vakavia aineellisia vahinkoja. Pahimmassa tilanteessa valokaaret aiheuttavat hengen vaaraa tai jopa kuolemia käyttäjä- ja huoltohenkilöstölle. /10/

Tämän ilmiön estämiseen on kehitetty valokaarireleitä, joiden toiminta perustuu valon, paineen ja virran havainnoimiseen, sekä nopeaan katkaisutoimintaan.

7.3.1 Valokaarisuojaus

Kiskostoissa ja kojeistoissa esiintyvät oikosulut ovat useimmiten valokaarivikoja. Tämän vuoksi valokaarireleet soveltuvat hyvin kiskostojen ja kojeistojen oikosulkusuojaksi. Valokaarireleet ovat erittäin nopeita, valokaari indikoidaan jo muutamassa millisekunnissa. Tarpeettomien toimintojen estämiseksi valokaarireleen yhteydessä käytetään virtaetta, joka hiukan hidastaa toimintaa, kuitenkin suojauksen toiminta-aika jää reilusti alle vaaditun 100 ms. Toiminta-ajan pituuteen vaikuttaa lähinnä katkaisijan hitaus.

Valokaarireleiden haittana on lähinnä anturien sijoittaminen. Jos kojeisto on rakenteellisesti jaettu useaan erilliseen kennoon, joudutaan vaikeimmassa tilanteessa jokaiseen kennoon asentamaan oma anturi, jolloin suojauksen hinta luonnollisesti nousee verrattuna siihen, jos yhdellä anturilla voitaisiin suojata suurempi tila. Toisaalta kojeiston kennorakenne itsessään estää valokaaren leviämisen. /11/

VAMP 321

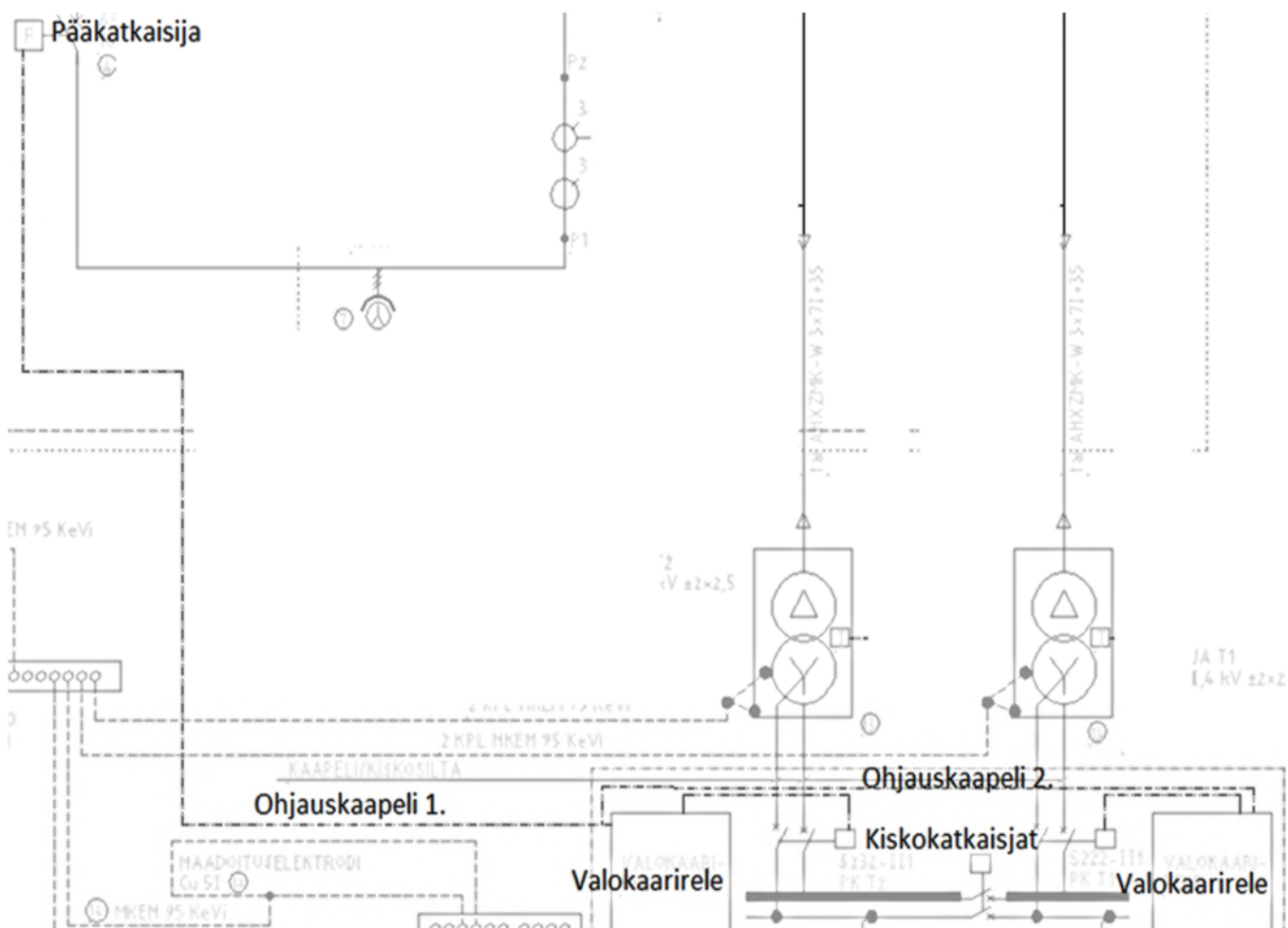


Keskeiset ominaisuudet:

- Joustava ja modulaarinen valokaarisuojausjärjestelmä, joka on helposti muokattavissa kohteen mukaan
- Keskusyksiköstä ja modulaarisista yksiköistä voidaan toteuttaa kohteen vaatimuksia vastaavat valokaarisuojaukset
- Järjestelmän jatkuva itsevalvonta
- 3-vaihevirta-, nolajännite- ja maasulkuvirtaliitännät
- Tapahtumarekisterit, häiriötallenteet ja reaaliaikainen kello
- Virtaan ja valoon tai pelkästään valoon perustuva toiminta
- Valoantureille liitännät perusyksikössä, VO-laitteita ei välttämättä tarvita
- Toiminta-aika elektromekaanisella lähtöreleellä 7 ms ja puolijohdelähdöllä 2 ms
- Ohjelmoitavat toimintavyöhykkeet
- Kommunikointiprotokollat mahdollistavat SCADA-yhteensopivuuden ja järjestelmän liittämisen kaukokäyttöön
- Tuki DI-tuloille ja DO-lähdöille katkaisijan ja erottimen tilatiedon osoitukseen ja ohjaukseen. Kanavamäärä tilauskoodin mukainen

KUVA 30. VAMP 321 valokaarirele.

Valokaarireleellä ohjataan keskijännitekojeiston pääkatkaisijaa sekä pienjännitepuolen kiskostoissa olevia katkaisijoita. Kuvaan piirretty valokaarireleellä ohjattavat komponentit. Valokaarisuojauksen antureita ei kuvaan ole piirretty.



KUVA 31. Valokaarireleillä ohjattavat komponentit

7.4 Asetteluarvot

Suojalaitteiden asetteluarvot vaihtelevat hieman eri sähkölaitosten vaatimusten mukaisesti. Alla läpikäydään muuntaman suurimman sähkölaitoksen vaatimat asetteluarvot eri suojalaitteille.

Oikosulkuilmaisimet tulee asetella 800-1000A alueelle, kahden tunnin automaattisella palautumisella. Ilmaisimen asetteluarvot tulee kuitenkin aina tarkastaa alueella toimivalta verkkoyhtiöltä.

Ylivirtasuojat tulee asetella muuntajien nimellis- ja sysäysvirtoja mukaillen. Oikosulkuvirtojen tulisi kuitenkin olla Tampereen sähkölaitoksen alueella hidastetussa laukaisussa enintään 500A ja pikalaukaisussa 1000A. Helsingin sähkölaitoksen alueella edellä mainitut arvot ovat hidastetussa laukaisussa 750A ja pikalaukaisussa 1800A.

Pääkatkaisijan ylivirtasuojan asetteluvirrat kannattaa asetella annettuja enimmäisarvoja pienemmiksi, mikäli mahdollista.

Muilta verkkoyhtiöiltä tiedot asetteluarvoista saa niitä tarvittaessa.

Valokaarireleiden kohdalla ainoana ehtona on toimintanopeus, jonka tulisi olla enintään 100ms.

8 OHJAUKSET

Kojeiston joitakin osia pitää pystyä ohjaamaan erilaisilla suojalaitteilla, jotta vikatilanteissa selvittäisiin mahdollisimman pienillä vahingoilla.

8.1 Liityntäkennojen ohjaus

Syöttö- ja liityntäkennoissa olevia kuormaerottimia ohjataan alueen verkkoyhtiön ohjausyksiköllä. Syöttökaapelissa ilmenevä vika havaitaan oikosulkuilmaisimella. Ilmaisिन lähettää signaalin ohjausyksikölle, joka ohjaa kyseisen kennon kuormaerottimen auki. Kuorma- ja maadoituserottimissa on, sekä avautuvia että sulkeutuvia potentiaalivapaita kärkiä. Potentiaalivapaista kärjistä on mahdollista saada tilatieto erottimen

asennosta (kiinni, auki, maadoitettu). Tätä tietoa voidaan hyödyntää erilaisissa lukitus- ja turvatoiminnoissa.

8.2 Katkaisijakennon ohjaus

Pääkatkaisijaa, mikäli sellainen kojeistosta löytyy, ohjataan kahdella eri suojalaitteella. Pääkatkaisija on varustettava laukaisukelalla. (48 tai 24Vdc) Vikatilanteessa suojalaitteelta saadaan signaali, jolla ohjataan katkaisijan laukaisukelaa. Laukaisukelaa ohjataan ylivirtasuojalla sekä valokaarireleellä.

Ylivirtasuoja toimii nimensä mukaan vain ylivirta tilanteissa. Kun virta ylittää asetetut arvot, lähettää suojalaite signaalin katkaisijalle.

8.3 Muut ohjaukset

Valokaarireleellä ohjataan pääkatkaisijan laukaisukelaa sekä pienjännitepuolen kiskokatkaisijoita. Valokaarirele ohjaa katkaisijoiden keloja selektiivisesti riippuen siitä, minkä anturin suojausalueella vika havaitaan.

9 MAADOITUKSET

Maadoitusjärjestelmä varmistaa ihmisten turvallisuuden kaikissa sellaisissa paikoissa, joissa on lupa kulkea.

Perusvaatimuksia, joita asetetaan kaikille maadoitusjärjestelmille ovat seuraavat:

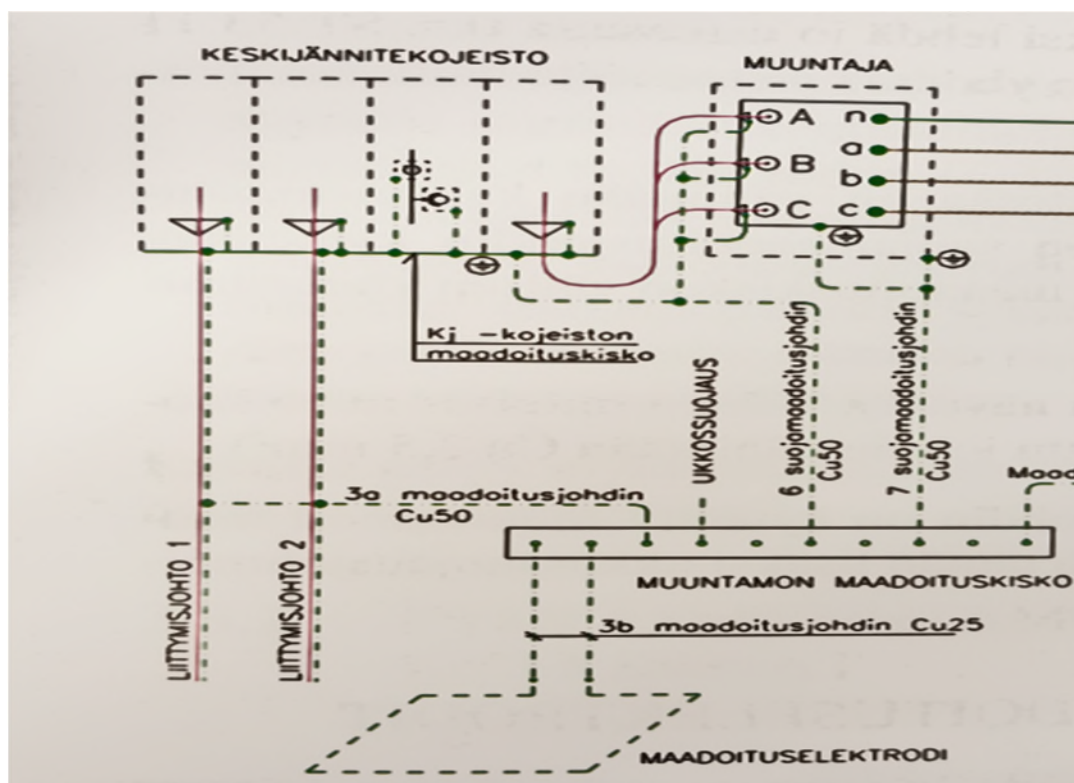
1. Maadoituksilta vaaditaan riittävää mekaanista lujuutta ja korroosionkestävyyttä.
2. Maadoituksen on kestettävä termisesti suurin mahdollinen maadoitukseen kulkeva vikavirta.
3. Maadoitus ei saa aiheuttaa vahinkoja omaisuudelle tai laitteille.
4. Maasulun aikana maadoitukseen kulkeva suurin mahdollinen vikavirta ei saa aiheuttaa henkilöturvallisuutta vaarantavia kosketus- tai askeljäännitteitä.

9.1 Keskijännitejakelujärjestelmän maadoitus

Maadoittaminen aloitetaan asentamalla maadoituselektrodi. Maadoituselektrodi voidaan rakentaa esimerkiksi kupariköydestä, joka asennetaan rakennuksen perustusten sisään tai alle. Mikäli maadoitusresistanssi jää liian suureksi, voidaan maadoitusta täydentää maahan asennettavalla lisäelektrodilla. Maakaapeliojissa ja taajama- sekä teollisuusalueilla tulee aina käyttää vähintään 25mm^2 kupariköyttä. /11/

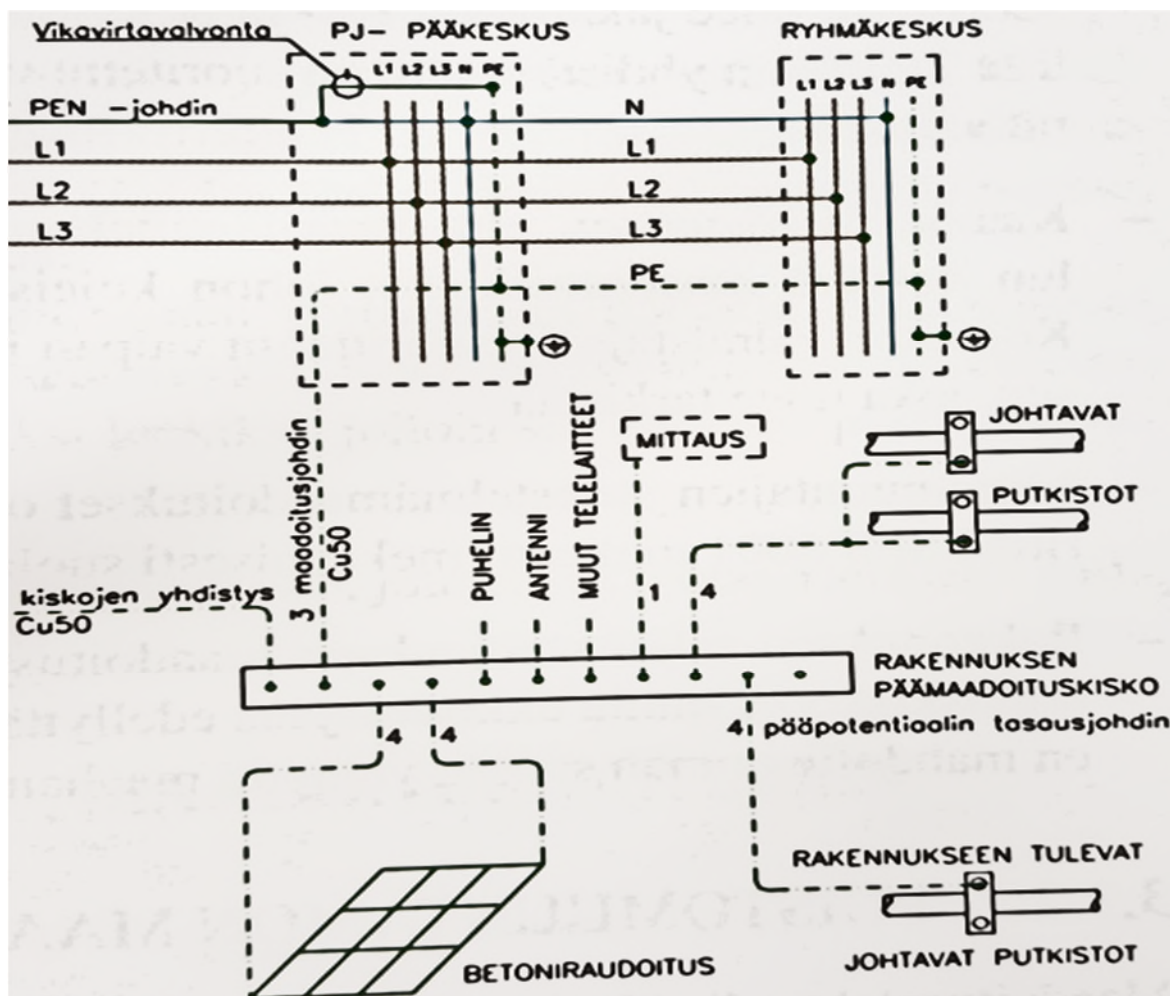
Keskijännitejakelujärjestelmässä tarvitaan kaksi potentiaalitasauskiskoa, jotka ovat S221 keskijännite ja S222 pääjakelun potentiaalitasaukset. Näillä potentiaalitasauskiskoilla voi olla omat maadoituselektrodit tai ne on voitu kytkeä samaan elektrodiin. Esimerkissä yhteisen maadoituselektrodin lisäksi potentiaalierojen muodostuminen estetään yhdistämällä paikalliset maadoitusjärjestelmät yhdeksi laajaksi maadoitusjärjestelmäksi.

Keskijännitepuolen tasauskiskoon kytketään rengassyötön mukana tulevat kaksi verkkoelektrodiä, keskijännitekojeiston runko, muuntajat sekä kaapeleiden johtimia suojaavat johtavat vaipat. Kojeiston työmaadoitus liitetään myös kyseiseen tasauskiskoon.



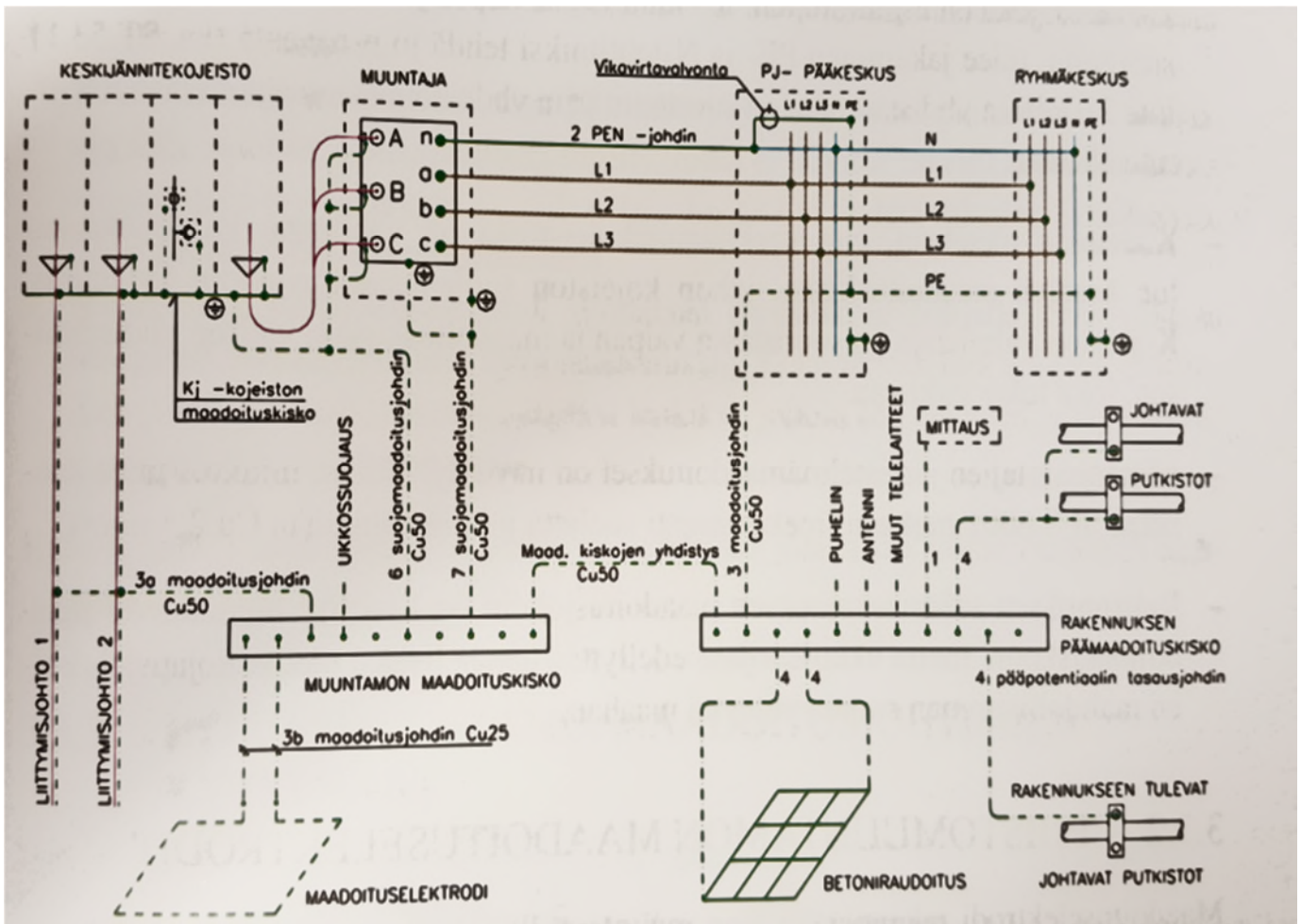
KUVA 32. Keskijännitekojeiston maadoitus.

Pääjakelun potentiaalintasauskiskoon lisätään pienjännitepuolella tarvittavat maadoitukset.



KUVA 33. Pienjännitepuolen potentiaalitasaus.

Yhdistämällä kuvat saadaan esimerkki keskijännitejakelujärjestelmän maadoituksesta. Kuvan kaavio on laadittu olettaen, että muuntamo liittyy kaapeloituun keskijänniteverkkoon.



KUVA 34. Maadoitusjärjestelmä.

10 VAIKUTUKSET MUIHIN SUUNNITTELUALOIHIIN

Keskijännitekojeisto, kaapelointi sekä muuntaja aiheuttavat tietynlaisia rakennus- ja paloteknisiä vaatimuksia.

10.1 Rakenteet

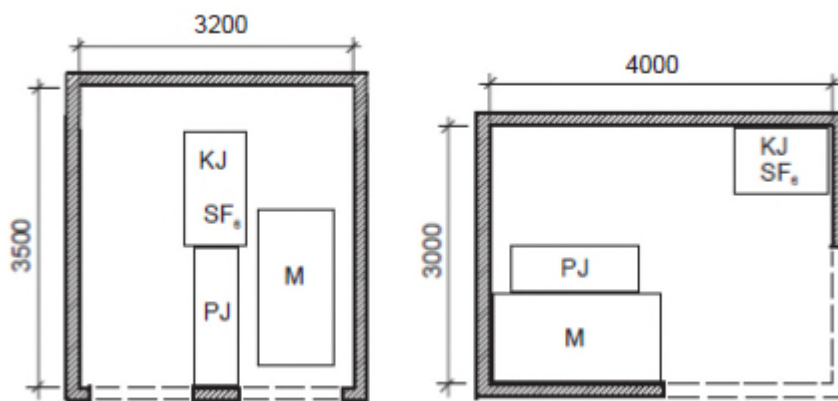
Muuntamo tai keskijännitteen liittymispiste sijoitetaan omaan erilliseen rakennukseen tai maantasolla olevaan kerrokseen rakennuksen ulkoseinälle siten, että muuntamon ovi avautuu suoraan ulos.

Muuntamotilan kautta ei saa johtaa putkia, kanavia tai kaapeleita, jotka eivät suoranaisesti liity muuntamon käyttöön.

Rakenteita suunniteltaessa tulee muuntajan paino ottaa huomioon. Joissakin tapauksissa tilaan asennetaan kaksi muuntajaa. Esimerkiksi yhden 800kVA öljyeristeisen muuntajan paino on noin 2300kg josta öljyä noin 430kg.

Muuntamon tilantarve riippuu siitä, millainen kojeisto ja muuntaja sinne on tarkoitus sijoittaa. Mitoitukseen vaikuttavat myös seuraavat seikat: hoitotilan vapaan leveyden tulee olla vähintään 800 mm ja kojeiston oven tai varokekytkimen auki ollessa leveyden tulee olla vähintään 500 mm. Keskijännite ja pienjännitekaapeleiden tulee myös kulkea ulkoseinästä kojeistoille lyhintä ja suorinta mahdollista reittiä pitkin. /12/

Alla on esitetty kaksi vaihtoehtoa tilavarauksesta, jos käytetään SF₆-eristeistä kojeistoja.



KUVA 35. Esimerkki tilavarauksesta.

Jos muuntamotilassa syttyy tulipalo, on rakenteille asetettu tietty paloluokitus. Seinä ja kattorakenteita kutsutaan osastoiviksi rakenteiksi. Osastoiva rakenne tarkoittaa, että palon leviäminen osastoivan rakenteen läpin kestää tietyn ajan. Osastoivan rakenne ilmoitetaan paloluokkamerkinnällä esim. EI60. Rakennusosiin kohdistuvia vaatimuksia kuvataan seuraavilla merkinnöillä: R kantavuus, E tiiviys, I eristävyys. Alla olevassa taulukossa on muuntamotilojen paloluokituksia erityyppisillä muuntajilla. /13/

Taulukko 11. Muuntamotilan paloluokitus.

Kerrosten lukumaara	O1-luokan eristysnestetta sisältävän muuntajan tila		F0-luokan kuivamuuntaja- tai kojeistotila	
	Kantavien rakennusosien vaatimukset	Osastoivien rakennusosien vaatimukset	Kantavien rakennusosien vaatimukset	Osastoivien rakennusosien vaatimukset
Enintaan 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. kellaritason alapuolella	R 240	EI 120	R 120	EI 120

10.2 Kaapelitila

Yleensä kojeistotilan alapuolelle on sijoitettu kaapelitila, koska kojeiston rakenteen takia liittyminen kennoihin on huomattavasti helpompaa alakautta. 20kV:n syöttökaapelit asennetaan kaapelitilan kautta. Kojelistosta lähtevät kaapelit asennetaan alakautta kaapelitilaa hyödyntäen. Sähkönsiirtoyhtiön syöttökaapelit tuodaan maassa vähintään 0,7 m:n syvyydessä kaapelitilan seinän läpi. Seinärakenteeseen on hankittava vedentäpitävät kaapeliläpiviennit.

Kojeistotilaan tai sen kaapelitilaan ei ole syytä suunnitella minkään muun järjestelmän laitteita, kuin on tarpeellista tilojen toimivuuden kannalta.

Tila on pyhitettävä pelkästään sähkölaitteille. Lisäksi 20kV:n kojeistotila on pidettävä turvallisuusmääräysten vaatimuksesta lukittuna, joka haittaa muiden järjestelmien huoltoja ja korjauksia./14/

10.3 Ilmastointi

Ilmanvaihtokanavat on johdettava suoraan ulkoilmaan. Ilmanvaihdon tulee olla tarpeeksi tehokas huolehtiakseen muuntamotilan jäähdytyksestä myös kesäajan kuormitushuippu aikoina. Muuntamotilan lämpökuorma määräytyy muuntajan häviötehojen mukaan. Tässä esimerkkikohteessa häviötehot olivat $P_k < 7000W$ ja $P_0 < 930W$. Mikäli keskijännitekojeisto sijoitetaan erilliseen tilaan, tulee ilmanvaihdon tehokkuus tarkastaa kojeiston häviötehojen mukaan. Tyypillisesti keskijännitekojeiston häviötehot ovat $< 500W$.

Ilmastointilaitteet tulee sijoittaa siten, että ne voidaan huoltaa muuntamon ollessa jännitteinen. Termostaatti sijoitetaan muuntajan lähelle vapaalle seinälle kennoston ulkopuolelle. /14/

LÄHTEET

/1/ <https://library.e.abb.com/pub-lic/0c8cf4b3a630586fc12573d2004b1e1d/UNIS5FI%200801.pdf>

/2/ ST-kortisto, ST 830.15 Keskijännitelaitteet, tekninen erittely, Sähköinfo Oy

/3/ http://www.siemens.fi/pool/cc/events/keskijannitesuunnittelijat2012/03_sf6-kaasu_sahkokojeistoissa.pdf

/4/ http://www.siemens.fi/pool/cc/events/keskijannitesuunnittelijat2012/02_keskijannitekojeistot_ilmaeristeinen_vs_sf6-teknologia.pdf

/5/ <https://fi.wikipedia.org/wiki/Muuntaja>

/6/ <http://users.metropolia.fi/~k0200665/koulu/sundgren.pdf>

/7/ SAMK Sähkölaboratorio/ mittamuuntajat.

/8/ http://www.pks.fi/c/document_library/get_file?uuid=fe1a8dd5-a4b2-4daf-9d5e-b6cf92038489&groupId=10427

/9/ <https://fi.wikipedia.org/wiki/Valokaari>

/10/ www.abb.com (2004/3)

/11/ [Maadoituskirja / 58](#)

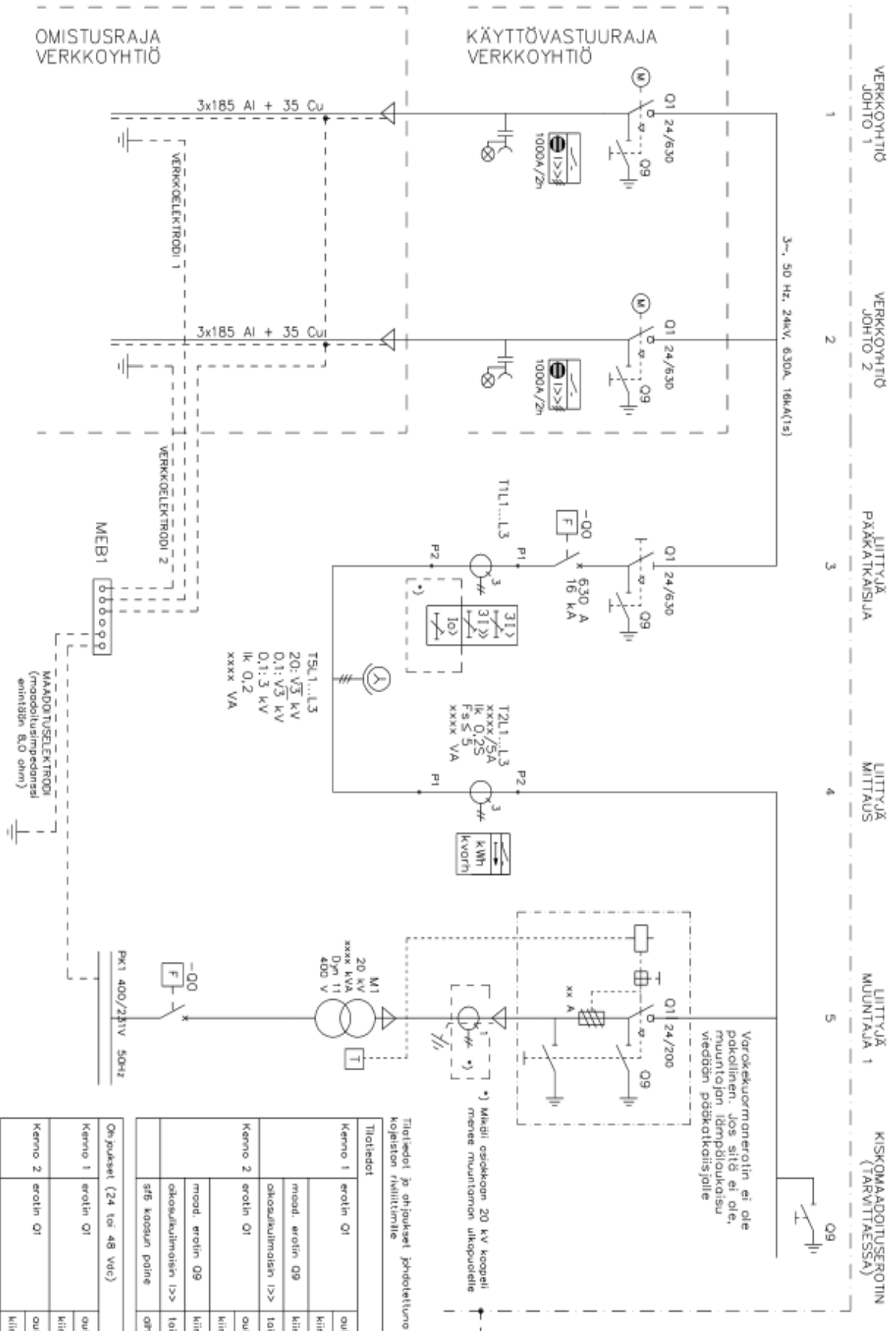
/12/ https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/45048/Puuronen_Markku.pdf?sequence=1

/13/ <http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/13872/HeikkiRinkinenT066SN.pdf>

/14/ http://www.posiva.fi/files/2564/POSIVA-99-41_Tyoraportti_web.pdf

/15/ st-kortti 53.11 /ilmanvaihto

LIITTEET



M P E R E E N K Ö V E R K K O O Y H K Ö L A I T O S		Kohde: TOOD NIMIKATU 1		Nimi: JAKELUMUUNTAJA 20/0,4kV LIITTYJÄ RENGASVERKKOON		Suunn. AKI/20.5.2010		Lentä. V/1		Pienustus n:o JKI TO0001	
				PÄÄKAAMO		Piltt.		Tunnus		Tied.	
						Tark.		Korv.		Liitty	

