



Osaamista  
ja oivallusta  
tulevaisuuden  
tekemiseen

Juha Laukkanen

# Kiinteistömuuntamon hankinta ja määräykset

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikka

Insinöörityö

6.11.2019

Tekijä Otsikko	Juha Laukkanen Kiinteistömuuntamon hankinta ja määräykset
Sivumäärä Aika	44 sivua + 2 liitettä 6.11.2019
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	sähkö- ja automaatiotekniikan koulutusohjelma
Ammatillinen pääaine	sähkövoimatekniikka
Ohjaajat	lehtori Vesa Sippola
<p>Insinöörityön tavoitteena oli perehtyä kiinteistömuuntamoa sekä keskijänniteliittymää koskeviin määräyksiin ja ohjeistuksiin luoden niiden pohjalta aiheesta opas. Monen kiinteistösähköistysalalla toimivan sähköurakoitsijan näkökulmasta muuntamo on ainoa työn puolesta vastaan tuleva suurjännitteinen sähkölaitteiston osa, jonka parissa asiaan kuuluvat määräykset tulevat vastaan.</p> <p>Opinnäytetyön lähdeaineistona käytettiin pääosin jakeluverkon haltijoiden suunnittelu- ja urakointiohjeita, Sähköinfo Oy:n julkaisemaa kirjallisuutta sekä ST-kortistoa. Muita mainittavia lähteitä olivat SFS-Käsikirja 601 ”Suurjännitesähköasennukset ja ilmajohtot” sekä muutama tarkkaan osa-alueeseen keskittynyt opinnäytetyö.</p> <p>Työssä on käsitelty muuntamon ja keskijänniteliittymän hankinta- ja toteutusprosessia pääpiirteittäin kannattavuuden arvioinnista käyttöönottoon asti pääpainon ollessa suunnittelun ja urakoinnin kannalta merkittävässä teknisessä määräys- ja ohjeistusosiossa.</p> <p>Työn tuloksena saatiin muodostettua yhteenveto kiinteistömuuntamon olennaisimmista seikoista, mitä voi hyödyntää muun muassa opetuskäytössä.</p>	
Avainsanat	keskijänniteliittymä, keskijännite, kiinteistömuuntamo, muuntaja, verkonhaltija

Author Title	Juha Laukkanen Acquisition and Regulations of Indoor Transformer Substations
Number of Pages Date	44 pages + 2 appendices 6 <sup>th</sup> November 2019
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical and Automation Engineering
Professional Major	Electrical Power Engineering
Instructor	Vesa Sippola, Senior Lecturer
<p>This thesis studies the standards and regulations surrounding indoor transformer substations and medium voltage electricity connections to the distribution network. Indoor transformer substations are the only medium voltage section with which electrical contractors have to deal with in the field of real estate electrification. Because of this, the aim was set to gather a general guide around the topic.</p> <p>The source material consists mainly of distribution network operators' own regulations, literature published by Sähköinfo Ltd. and their ST-card database. Other sources are SFS-Handbook 601 "High Voltage Electrical Installations And Overhead Lines" as well as a few thesis texts focused on a specific section around this topic.</p> <p>This study involves the main points of the delivery process of a transformer substation and medium voltage connection from the evaluation of conditions all the way to the implementation. Main focus is aimed towards the standard and regulation section, which is important from contractors' and designers' points of view.</p> <p>As a result of this study, a general guide for indoor transformer substations was made. This guide can be utilized in educational use and by those who are interested in the subject.</p>	
Keywords	medium voltage electricity connection, medium voltage, indoor transformer substation, transformer, distribution network operator

## Sisällys

### Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Esimerkkikohteen esittely	1
3	Keskijänniteliittymä	2
4	Suunnittelu ja selvitysvaihe	3
4.1	Keskijänniteliittymän harkinta vaihtoehtona	3
4.2	Kustannusvertailua	4
4.3	Liittymätilaus	11
4.4	Suunnitelmien hyväksyttäminen	12
4.5	Liittymissopimus	13
5	Määräykset ja toteutus	13
5.1	Sähkölaitteistoluokitus ja seuraukset	14
5.2	Laitteisto	14
5.3	Tilan vaatimukset	20
5.4	Maadoitukset	25
5.5	Muuntamotilan sähkönsyöttö	27
5.6	Mittarointi	28
5.7	Suojaukset	32
6	Käyttöönotto	34
6.1	Käyttöönottotarkastus	34
6.2	Toiminnan testaukset	37
6.3	Kolmannen osapuolen tarkastukset	38
7	Yhteenveto	39
	Lähteet	41
	Liitteet	
	Liite 1 Esimerkki keskijänniteliittymän maadoituskaaviosta	
	Liite 2 Esimerkki aistinvaraisesta tarkastuksesta	

## Lyhenteet

AHXAMK-W	PEX-eristeinen alumiinivoimakaapeli keskijänniteasennuksiin maahan ja sisälle. Koostuu kolmesta itsenäisesti vaipatusta johtimesta ja kuparisesta keskusköydestä.
AXMK	PEX-eristeinen alumiinivoimakaapeli pienjänniteasennuksiin maahan ja sisälle.
HXCMK	PEX-eristeinen kuparivoimakaapeli keskijänniteasennuksiin maahan ja sisälle. Vaihejohtimet itsenäisesti vaipattuja.
KJ	Keskijännite. 1–36 kV AC, Suomen jakeluverkossa pääasiassa 10 tai 20 kV.
PJ	Pienjännite. ≤1 kV AC, Suomen pienjänniteverkossa 400 V:n teollisuuden sisäiset jakelut poisluettuna.
RMU	<i>Ring Main Unit</i> . Rengassyöttökojeisto. Koostuu esimerkiksi kahdesta liittymiserottimesta ja yhdestä varokekuormanerottimesta.
S1-pätevyys	Oikeuttaa toimimaan sähkötöiden johtajana ja käytön johtajana kaikissa sähkötöissä hissejä lukuun ottamatta.
SF <sub>6</sub>	Rikkiheksafluoridi. Käytetään kaasueristeenä keski- ja suurjännitekojeistoissa.
UPS	<i>Uninterruptible Power Supply</i> . Keskeytymätön sähkönsyöttö, joka takaa syötettävän laitteen sähkönsaannin normaaliverkon lyhyiden katkosten varalta.

## 1 Johdanto

Insinööritö käsittelee kiinteistömuuntamoja ja keskijänniteliittymää. Työn tavoitteena on perehtyä muuntamon toteutukseen liittyviin standardeihin ja ohjeistuksiin sekä hankintaprosessin pääpiirteisiin. Työn pääpaino on toteutusvaiheen ja toteutuksen näkökulmassa, mutta joitakin suunnitteluvaiheen asioita on tuotu esiin yleiskuvan kannalta.

Keskijänniteliittymän omaavassa kiinteistössä muuntamotila on kooltaan varsin pieni kokonaisuus, mutta sähkötekniikan kannalta kaiken ydin. Muuntamo keskijänniteasennuksineen on myös kiinteistösähköistysalalla toimivan S1-pätevyyden omaavan sähköurakoitsijan kannalta pääsääntöisesti ainoa kokonaisuus, jolloin suurjänniteasennuksia koskevien standardien ja ohjeistuksien kanssa tullaan tekemisiin käytännön toteutuksessa. Päädyin näin ollen esiteltyn aiheeseen, koska se vaikutti olevan hyvä panostus tulevaisuutta silmällä pitäen.

Työ on jaoteltu karkeasti kahteen pääalueeseen. Ensimmäisessä osassa käsitellään sähköliittymän hankintaprosessia ja keskijänniteliittymää yleisesti verraten myös kustannuksia pienjänniteliittymän suhteen. Toisessa osiossa käsitellään teknisiä määräyksiä ja ohjeistuksia sekä yleisiä asioita toteutus- ja käyttöönottovaiheeseen liittyen.

## 2 Esimerkkikohteen esittely

Työssä esiintyvällä esimerkkikohteella viitataan Helsingissä sijaitsevaan 1950-luvulla rakennettuun kiinteistöön, jonka tilat toimivat aiemmin toimistokäytössä. Vuosituhannen vaihteessa sekä sitä seuraavan vuosikymmenen aikana kiinteistöä oli peruskorjattu tarpeen mukaan. 2017 aloitetun käyttötarkoituksen muutoksen myötä kohteessa suoritettiin mittavat rakennusteknilliset työt, minkä lisäksi taloteknilliset järjestelmät uusittiin liittymiä myöden. Vanhan 800 A:n pienjänniteliittymän tilalle rakennettiin kiinteistön oma 10 kV:n keskijännitemuuntamo kojeistoiineen. Uusi muuntamotila sijoitettiin olemassa olleen jakeluverkonhaltijan muuntamotilan viereen. Verkonhaltijana kohteen alueella toimii Helen Sähköverkko Oy. Tulin itse kohteeseen sähköurakoitsijan palvelukseen hieman ennen liittymän jännitteiseksi kytkemistä, jolloin muuntamoon liittyvät asennukset olivat lähestulkoon valmiit.

### 3 Keskijänniteliittymä

Jakeluverkolla sähkö siirretään kulutusalueille käyttäjien tarpeisiin. Jakeluverkko voidaan jakaa jännitetason mukaan keski- ja pienjännitteelle. Suomessa jännitetaso keski-jännitteellä on yleisesti 20 kV. Joissakin kaupungeissa, kuten esimerkiksi osassa Helsinkiä ja Turkuja, käytetään myös 10 kV:n jännitettä. [1.]

Yleisesti ottaen keskijänniteliittymiä rakennetaan kohteisiin, joissa pienjänniteliittymällä saatava teho ei joko riitä tai ei ole taloudellisesti järkevää toteuttaa. Tällaisia kohteita ovat muun muassa teollisuus, urheiluhallit, suuret koulut, sairaalat, toimistorakennukset sekä esimerkkikohteen lailla hotellit [2]. Verkonhaltijan ja liittymän välinen omistusraja kulkee asiakasmuuntamon keskijännitekojeistoon tulevan suurjännitekaapelin liittimisessä. Pienjänniteliittymästä poiketen varsinaista liittymiskaapelia ei näin ollen ole vaan asiakasmuuntamon kojeisto liittyy suoraan osaksi jakeluverkkoa. [3.]

Helpoin tapa itse toteutuksen sekä kustannuksien kannalta on toteuttaa keskijänniteliittymä ulosasennettavalla, keskijännitekojeiston ja muuntajan sisältävällä puistomuuntamolla. Tässä työssä perehdytään kuitenkin kiinteistöön sisälle rakennettavaan muuntamoon, eikä työssä käsitellä puistomuuntamoita. Kuvassa 1 on esimerkki Norelcon puistomuuntamosta.



Kuva 1. Norelcon NPM 530 -puistomuuntamo [4].

## 4 Suunnittelu ja selvitysvaihe

### 4.1 Keskijänniteliittymän harkinta vaihtoehtona

Taloteknisen suunnittelun tehtäväluettelon (TATE18) mukaisesti hankesuunnitteluvaiheen yksi varhaisimmista toimenpiteistä olemassa olevan kiinteistön tapauksessa on nykyisten taloteknisten liittymien arviointi rakennushankkeen kannalta. Tarkasteltavia seikkoja ovat nykyisen liittymän kapasiteetti, tekninen kunto ja jäljellä oleva käyttöikä. Mikäli kohteen tyyppin, alustavan liittymätehon sekä nykyisen liittymän tilan myötä voidaan uuden keskijänniteliittymän hankintaa pitää järkevänä vaihtoehtona, tulee sähkösuunnittelijan seuraavaksi arvioida liittymätyypistä aiheutuvat rakennus- ja käyttökustannukset keskijänniteliittymän kannattavuuden kannalta. Selvitettäviä ja arvioitavia kustannusasioita ovat

- siirtohinnat pien-/keskijännite
- sähköenergian hinnat pien-/keskijännite
- liittymishinnat pien-/keskijännite
- muuntamon toteutuskustannukset
- käyttö- ja huoltokustannukset (mm. käytönjohtajan palkkakustannukset)
- mahdollinen vanhan liittymän poistosta saatava hyvitys.

Edellä luetellut seikat saattavat vaihdella suuresti eri verkonhaltijoiden kesken, joten keskijänniteliittymän kannattavuuslaskelmaa silmällä pitäen mainitut seikat tulee selvittää ja tarkistaa paikkakuntaakohtaisesti. Kustannustarkastelu tulisi tehdä muuntamon koko käyttöiän kattavalta ajalta. Suunnittelutyön alkuvaiheessa harkitaan jo myös teknisten päätilojen alustavia sijoitusvaihtoehtoja, jolla on erittäin suuri merkitys myöhemmän toteutuksen onnistuneeseen läpivientiin. Suunnittelutyön edetessä aiemmin mainitut seikat täsmentyjät ja tarkentuvat. Tuloksina syntyvät muun muassa energiankulutuslaskelmat, selvitykset liittymätyypeistä sekä niiden kapasiteeteista. [2; 3; 5.]

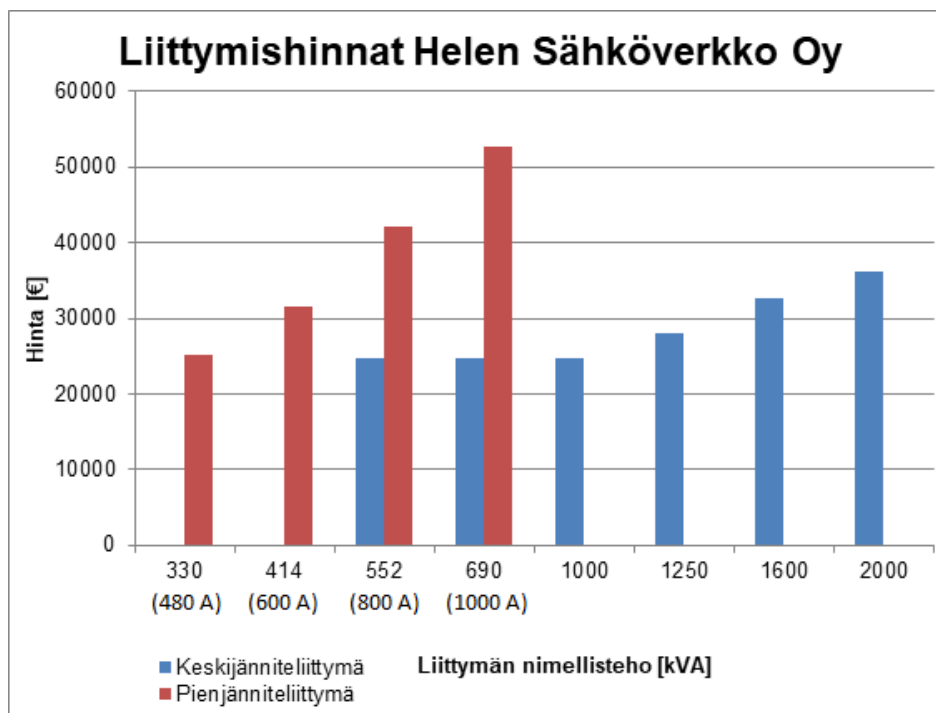


## 4.2 Kustannusvertailua

### Liittymismaksu

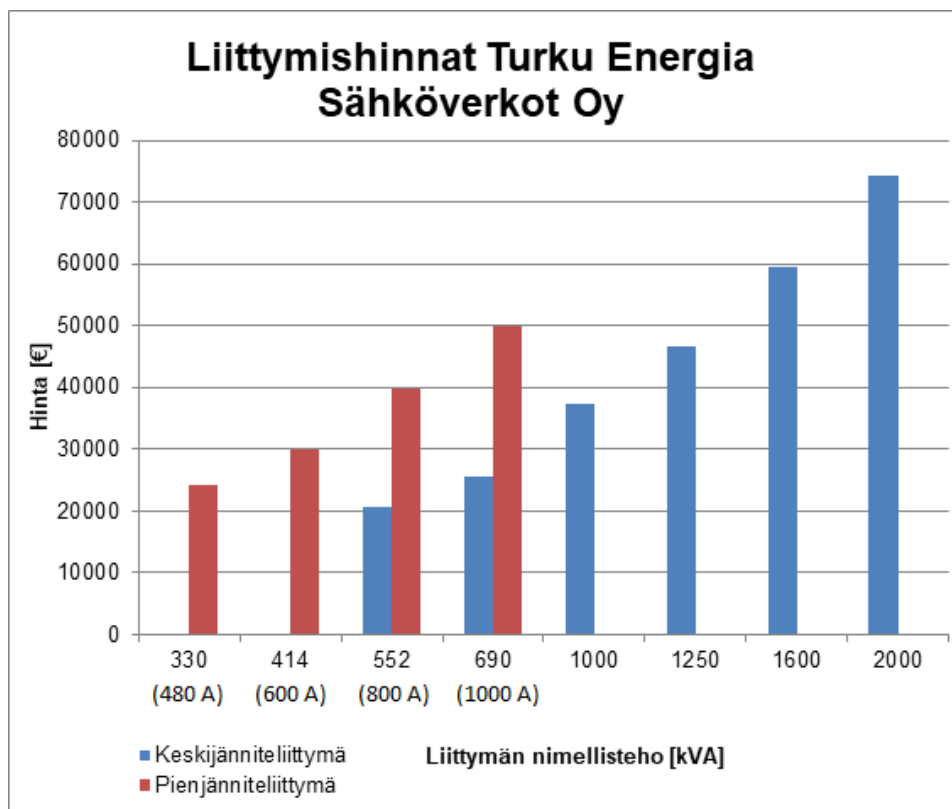
Liittymismaksu on korvaus verkonhaltijalle asiakkaan sähkölaitteiston liittämisestä jakeluverkkoon. Liittymismaksun suuruuteen vaikuttaa kaksi päätekijää: välittömät rakennuskustannukset ja kapasiteettivarauskmaksu, joka puolestaan jakaantuu kaapeloinnin ja muuntajien osa-alueisiin. Kapasiteettivarauskmaksun tarkoitus on kattaa aiheutuva jakeluverkon vahvistamistarve uuden liittymän nimellistehon mukaiselta osalta. Energiavirasto on vahvistanut liittymämaksun suuruuden määrittämiseen käytettävät menetelmät, kuten esimerkiksi kapasiteettivarauskmaksun laskemisen. Kaapeloinnin kapasiteettivarauskmaksuun vaikuttavia tekijöitä ovat alueen maakaapelointi- ja ilmajohtoaste sekä sähköasemien ja liittymispisteiden keskimääräinen etäisyys. Keskijänniteliittymän tapauksessa muuntajien kapasiteettivarauskmaksussa otetaan huomioon ainoastaan sähköaseman päämuuntajan osuus. Pienjännitteellä mukaan laskettaisiin myös jakelumuuntajan kustannukset. Muuntajan liittymäkohtainen varausmaksu voidaan määrittää laskemalla muuntajan yksikköhinnoista liittymän nimellistehon mukainen suhteellinen osuus. [6.]

Pääsääntöisesti suurin jakeluverkon haltijoiden tarjoama liittymä koko pienjännitteellä on 1000 A. Pääsääntöisesti yli 200 A:n liittymät toteutetaan käytännössä useammalla rinnakkaisella kaapelilla, joten tässä 1000 A:n tapauksessa pääsulakkeina toimisi viiden AXMK 4x185 S -kaapelin 200 A:n sulakkeet. Suuret pienjänniteliittymät aiheuttavat suurta painetta verkonhaltijaa kohtaan käyttökohteen tarvitseman suuren tehon myötä, mikä voidaan nähdä suurien liittymien hinnoissa. Tarvittaessa verkonhaltija voi joutua jopa harkitsemaan oman muuntamon rakentamisesta kiinteistöön tai sen läheisyyteen. Kuvissa 2, 3 ja 4 on vertailtu Helen Sähköverkko Oy:n, Turku Energia Sähköverkot Oy:n sekä Elenia Oy:n liittymismaksuja pien- ja keskijännitteellä. Hinnat ovat kaikki arvonlisäverollisia (alv 24 %). Suluissa on esitetty pienjänniteliittymien osalta tavallimpi sulakekoon mukainen luokittelu.



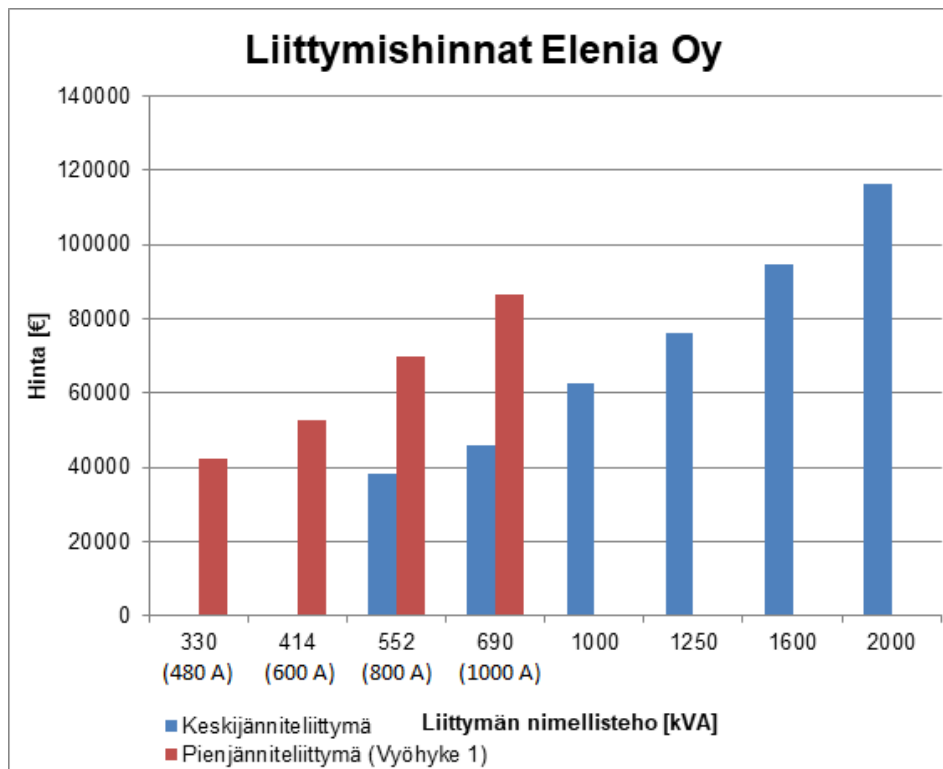
Kuva 2. Liittymishinnat pien- ja keskijännitteellä Helenin alueella (suluissa pienjänniteliittymien sulakekoot) [7].

Helenin tapauksessa keskijänniteliittymän hinta on vakio, kun liittymisteho 1000 kVA tai alle. Ylöspäin mentäessä hinta kasvaa 100 kVA:n portaissa. Keskijänniteliittymän pienintä liittymäkokoa ei erityisemmin ole määrätty, mutta liittymishintojen osalta nähdään, että pien- ja keskijänniteliittymä ovat tasoissa liittymätehon ollessa 330 kVA.



Kuva 3. Liittymishinnat pien- ja keskipäntteillä Turku Energian alueella (suluissa pienjänniteliittymien sulakekoot) [8].

Turku Energia oli kolmesta verkonhaltijasta ainoa, joka oli omissa hinnastoissaan määrännyt keskipäntteliittymän koolle minimitason, 500 kVA. Aiheutuvat verkonrakennuskustannukset veloitetaan myös muista poiketen erikseen, eli liittymismaksu sisältää ainoastaan kapasiteettivarausmaksun.



Kuva 4. Liittymishinnat pien- ja keskijännitteellä Elenian alueella (suluissa pienjänniteliittymien sulakekoot) [9].

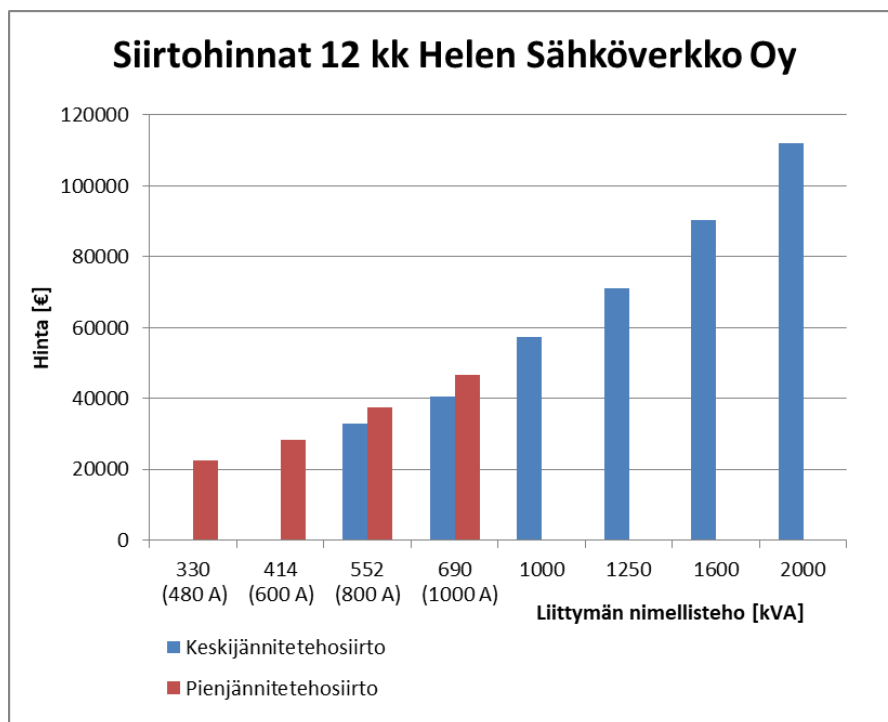
Yleisesti ottaen kuvista 2, 3 ja 4 voidaan havaita, miten paljon verkkoyhtiöiden hinnoittelut poikkeavat toisistaan muun muassa maantieteellisen sijainnin ja alueen sähköverkon rakenteen sanelemana. Toisena seikkana nähdään, miten paljon halvempi keskijänniteliittymä on saatuaan siirtotehoon nähden suurimpiin pienjänniteliittymiin verrattuna, kun huomioidaan ainoastaan liittymämaksu.

Esimerkkikohteen sähköliittymää mitoittaessaan sähkösuunnittelija oli huipputeholaskelmassaan tasauskertoimet huomioon ottaen päätenyt noin 1000 kVA:n tehoon. Arvo on selvästi suurempi kuin suurimmat pienjänniteliittymät, joten keskijänniteliittymään päätyminen oli siis itsestään selvä.

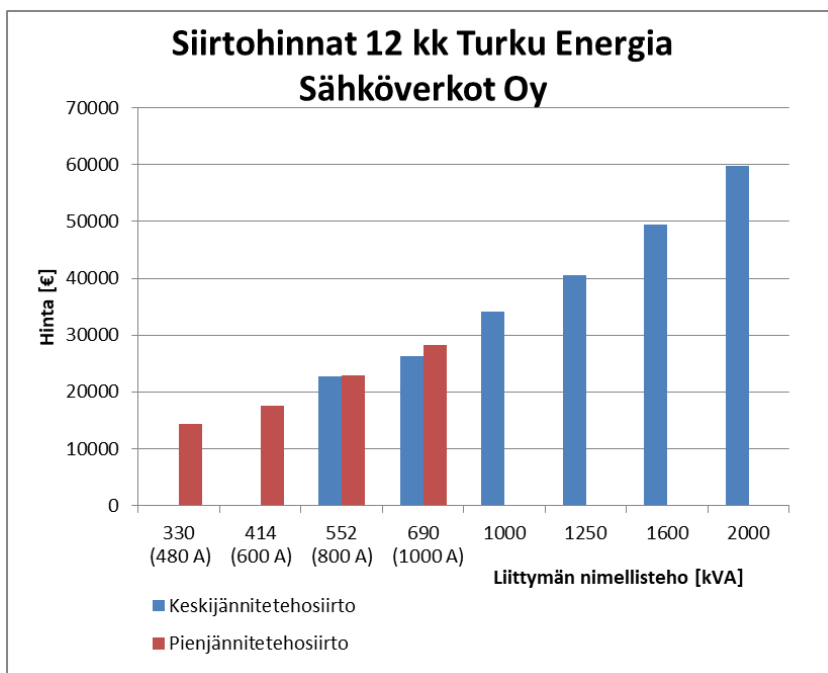
#### Sähköenergian siirtohinnat

Sähköenergian hintaan voi asiakas vaikuttaa tiettyjen rajojen sisällä kilpailuttamalla oman sähköenergian tarjoajansa, mutta siirtohinnat määräytyvät paikallisen jakeluverkonhaltijan mukaan. Siirtohinnan kuukausittainen laskutus perustuu tehosiirtotuotteissa

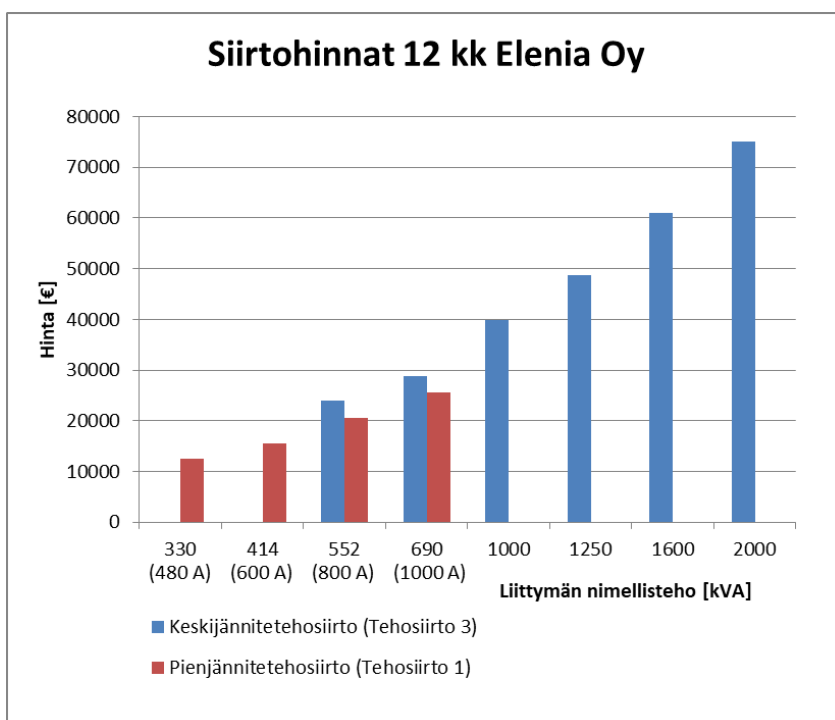
useimmiten, ellei toisin ole mainittu, kuukauden suurimpaan mitattuun yhden tunnin keskiarvoteroon. Seuraavissa kuvissa 5, 6 ja 7 on vertailtu Helenin, Elenian sekä Turku Energian siirtohintoja pien- ja keskijännitetehtosiirtona yhden vuoden pituisella ajankaksolla. Laskuista on jätetty pois sähköveron osuus sekä siirretyn sähköenergian mukaan määrittyvä osuus. Mikäli edellä mainitut seikat huomioitaisiin tarkemmissa laskelmissa, kasvaisivat pienjännitevaihtoehtojen hinnat suhteessa verrokkiin, sillä siirretyn energian mukaan määrittyvä osuus on keskijännitteellä verkonhaltijasta riippuen noin 0,1–0,2 c/kWh halvempi kuin pienjännitteellä. Sähkövero ei vaikuta keskinäiseen vertailuun, koska se on kummassakin tapauksessa samansuuruinen (noin 2,8 c/kWh Veroluokassa 1). Laskuissa oletettu tilanne on täysin teoreettinen, jossa kuukausittainen huipputeho on aina liittymän nimellisteho pätötehon muodossa.



Kuva 5. Siirtohinnat pien- ja keskijännitteellä Helenin alueella (suluissa pienjänniteliittymien sulakekoot) [10].



Kuva 6. Siirtohinnot pien- ja kesjijännitteellä Turku Energian alueella (suluissa pienjänniteliittymien sulakekoot) [11].

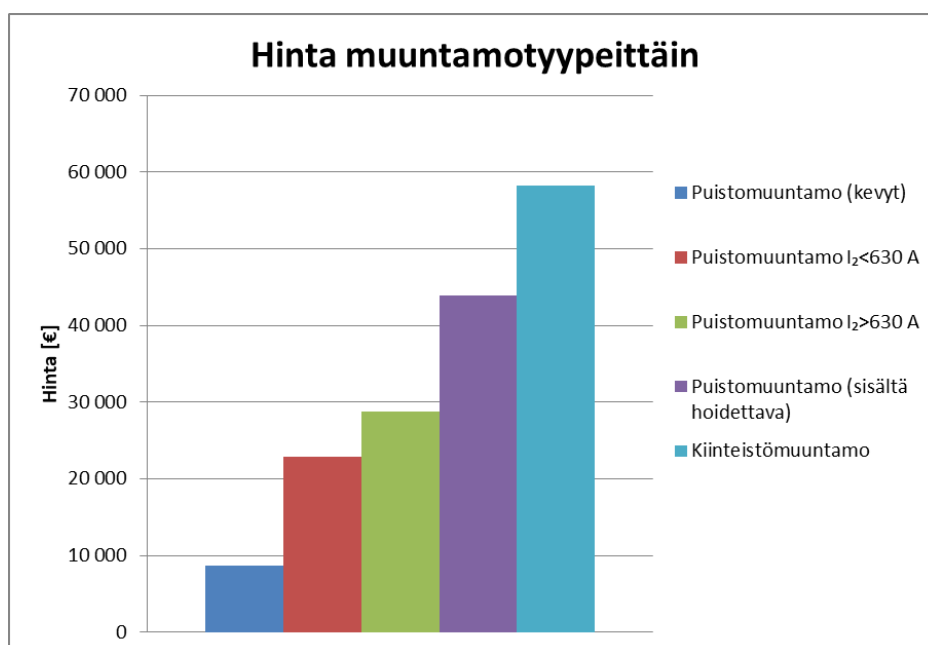


Kuva 7. Siirtohinnot pien- ja kesjijännitteellä Elenian alueella (suluissa pienjänniteliittymien sulakekoot) [12].

Kuvista 5–7 voidaan havaita, kuinka paljon verkonhaltijakohtaiset hinnoitteluerot vaikuttavat siirtohintoihin. Laskujen perusteella ero pien- ja keskijännitteen välillä ei ole suuri, mutta jos asiaa tarkastellaan muuntamon oletetun 15–30 vuoden käyttöiän [5] puitteissa, saattaa ero muodostua jo huomioon otettavaksi. Edullisempi vaihtoehto tosin vaihtelee verkonhaltijasta riippuen, joten laskelmat tulee tarkistaa paikkakuntaakohtaisesti.

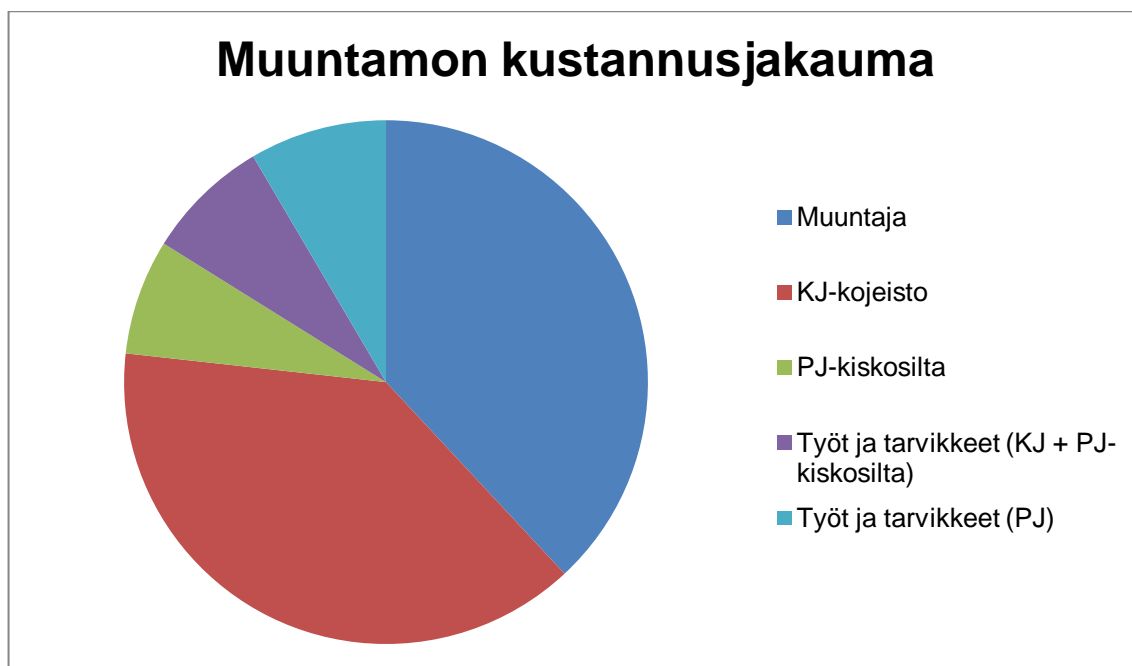
### Muuntamon kustannukset

Energiavirasto on julkaissut sähköverkkokomponenttien yksikköhintaluettelon eri verkonhaltijoiden toteutuneiden investointikustannusten pohjalta. Parhaiten hintaluettelo soveltuu jakeluverkon töiden kustannusarviointiin, mutta tietyssä määrin sitä voidaan hyödyntää myös suuntaa antavasti asiakasmuuntamon rakennuskustannusten arvioinnissa tai esimerkiksi liittymämaksun rakennuskustannusosan suuruuden arvioinnissa. Kuvassa 8 on esitetty Energiaviraston yksikköhintaluettelon mukaiset hinnat eri muuntamotyypeille jakeluverkossa. Hintoja tulkittaessa tulee huomioida tarkasti, mitä hintaan sisältyy. Esimerkiksi hinnaltaan merkittävä muuntaja asennuksineen ei sisälly hintaan, mutta tilan hankintakustannukset kuten vuokra sisältyy. Kiinteistömuuntamon osalta lisäoletuksena on, että muuntamo rakennetaan muuten valmiiseen huonetilaan. [13.]



Kuva 8. Jakeluverkon muuntamoiden hinnat tyypeittäin [14].

Muuntamon hinnassa merkittävimpiä tekijöitä ovat muuntaja ja keskijännitekojeisto, joiden hintaan osaltaan vaikuttaa merkittävästi esimerkiksi muuntajatyypin sekä kojeiston rakenne. Yleisesti asennustyön ja muun materiaalin osuus on karkeasti noin neljännes [15]. Kuvassa 9 on esitetty esimerkkikohteen osalta kustannusten suhteellista jakaumaa perinteisessä yhden muuntajan kompaktissa muuntamossa.



Kuva 9. Esimerkkikohteen muuntamokomponenttien suhteellinen kustannusjakauma.

#### 4.3 Liittymätilaus

Liittymätilauksen tekeminen on tilaajan vastuulla. Liittymätilauksessa ilmoitetaan kohteen osoitetiedot sekä liittymän oleelliset tekniset tiedot. Tilauksessa ilmoitetaan myös toivottu ajankohta, jolloin liittymään voidaan verkonhaltijan osalta kytkeä jännite. Lopullinen toteutuva ajankohta liittymän sähköistämiseksi määrittyy työn edetessä urakoitsijan ja verkonhaltijan vuorovaikutuksen tuloksena. Ajoituksen suhteen on syytä varautua jopa kolmen kuukauden ja vuodenajat huomioiden sitäkin pitempiin toimitusaikoihin ennen kuin liittymään on saatavilla sähköä. [5; 16; 17.]



#### 4.4 Suunnitelmien hyväksyttäminen

Tehtyjen suunnitelmien perusteella verkonhaltija tarkastaa ja arvioi kohteen sähköntarpeen sekä sähköliittymän kannalta olennaisten tilojen koon riittävyyden. Keskijänniteverkkoon liityttäessä muuntamon sijaintitiedot, rakenteet ja keskijännitekaapelien reitit on hyväksyttävä verkonhaltijalla ennen kuin rakennuslupahakemusta voidaan käsitellä. Sähkösuunnittelijan tulee täten lähettää verkonhaltijalle pääpiirustukset sisältäen kohteen sijainti- ja kokotiedot niin aikaisessa vaiheessa kuin se vain on mahdollista. Verkonhaltija voi näin vaikuttaa omalta osaltaan siihen, että liitettävän kohteen pääkeskus- ja muuntamotilat pystyttäisiin sijoittamaan parhaimpaan mahdolliseen paikkaan liittymiskaapelin sijainnin ja reitin suhteen. Samalla verkonhaltija saa enemmän toiminta-aikaa, mikäli sen täytyy itse suorittaa mittavia verkonrakennustöitä. Lähetettäviä asiakirjoja ovat

- kohteen sijaintitiedot
- rakennustiedot (pinta-ala, tilavuus, lämmitysmuoto)
- tonttikartta tai karttaote
- tasopiirustus (pääkeskuksen sijainti ja liittymiskaapelin reitti)
- arvio rakennettavan kohteen liityntätehosta.

Suunnittelutyön edettyä riittävälle tasolle tulee sähkösuunnittelijan toimittaa verkonhaltijalle seuraavat suunnitelmat, jotta verkonhaltija saa riittävän tarkat lähtötiedot liittymän ja mittaroinnin toteutukseen:

- sähkötyöselostus
- asemapiirustus
- pää- ja nousujohtokaavio
- maadoituskaavio
- tasopiirustukset pää- / mittauskeskusten sekä liittymisjohdon sijainneista
- pää- ja mittauskeskusten pääkaaviot sekä kokoonpanopiirustukset
- tarvittavat kaapelireittisuunnitelmat keskijännitekaapelien osalta
- keskijännitekaavio sekä -kojeiston rakennepiirustukset.

Mikäli kohteen laajuudesta johtuen kiinteistössä sijaitsee useampia asiakasmuuntamoita, riittää päämuuntamon takaisista alamuuntamoista sijaintitiedot, keskijänniteverkon yleiskaavio sekä muuntajakohtaiset tehot. Asemapiirustuksen tulee lisäksi sisältää kes-

kijänniteverkon reittitiedot tontin sisällä. Jakeluverkonhaltija arkistoi lähetetyt suunnitelmat omaa käyttöönsä varten. Työnaikaiset suunnitelmat ovat riittävät, mikäli niihin ei tule merkittäviä liittymään tai mittaukseen koskevia muutoksia. [18.]

#### 4.5 Liittymissopimus

Liittymissopimus voidaan tehdä, kun verkonhaltija on tarkastanut ja antanut hyväksyntänsä lähetetyille sähkösuunnitelmille. Sopimus tehdään kirjallisesti jakeluverkonhaltijan ja verkkoon liittyjän välillä. Sähköverkkoon liityttäessä noudatetaan Energiateollisuus ry:n suosittelemia liittymisehtoja, jotka esimerkkikohteen osalta olivat LE 2014. Näitä liittymisehtoja sovelletaan liityttäessä alle 24 kV:n sähköjakeluverkkoon sekä liittymän sähkönkäytön ylläpidossa. Sopimus tehdään kiinteistön omistajan nimiin. Mikäli omistaja tai haltija on yhtiö, on syytä huomioida, että tilaajan puolelta sopimuksen tekevällä henkilöllä on kohteen osalta allekirjoitusoikeus. Allekirjoittajaksi sähköverkkoon liittyjän puolelta ei yleensä kelpaa rakennuttaja tai urakoitsija. Urakoitsijan ja suunnittelijan on kuitenkin tarvittaessa avustettava sopimuksen teossa teknisten tietojen täyttämisessä. [19; 20.]

### 5 Määräykset ja toteutus

Suunnittelussa ja asennustöissä noudatetaan standardia SFS 6001 Suurjänniteasennukset sekä verkonhaltijakohtaisia urakointi- ja suunnitteluohjeita, joissa annetaan kohdennettuja vaatimuksia laitteistoon liittyen. Pääasiassa pienjännitepuolella toimivan sähköurakoitsijan näkökulmasta keskijänniteliittymän sisältävän kohteen toteutus vaatii muuntamon osalta erikoisosaamista sekä erikoistyökaluja muun muassa relekoestusten ja kaapelipäätteiden asennusten osalta, minkä vuoksi työn hankkiminen muualta saattaa olla kannattavampaa. Esimerkkikohteessa keskijännitetyöt toteutettiin aliurakana kojeiston kokoamisen yhteydessä.

## 5.1 Sähkölaitteistoluokitus ja seuraukset

Keskijännitemuuntamon myötä kiinteistön sähkölaitteisto on luokan 2c mukainen sähkölaitteisto. Tämän johdosta sähkölaitteistolle aiheutuvia seuraamuksia ovat

- kunnossapito-ohjelma
- käytönjohtaja nimeäminen
- varmennustarkastus
- määräaikaistarkastukset.

Kunnossapito-ohjelman avulla ylläpidetään sähkölaitteiston turvallista käyttöä, jonka noudattamista sekä käyttö- ja huoltotöiden suorittamisesta vastaamaan kohteeseen tulee nimetä käytönjohtaja. Lisäksi käytönjohtaja vastaa käyttötöiden tekijöiden pätevydestä sekä laitteiston yleisestä turvallisuudesta. Käytönjohtajalla tulee olla vähintään Rajoitettu sähköpätevyys 1, joka oikeuttaa toimimaan käytönjohtajana enintään 20 kV:n sähkölaitteistojen parissa. Laitteiston rakentavan sähköurakoitsijan sähkötöidenjohtajalla puolestaan tulee olla Sähköpätevyys 1, joka oikeuttaa kaikkiin sähkö- ja käyttötöihin pien- ja suurjännitteillä. Rakentamisen aikana käytönjohtajana toimii käytännössä urakoitsijan sähkötöidenjohtaja kohteen luovutukseen asti. [21.]

## 5.2 Laitteisto

Muuntamon laitehankinnat tulee hyväksyttää etukäteen tilaajalla sekä soveltuvin osin verkonhaltijalla muun muassa teknisten tietojen ja mittojen osalta. Muuntamon töitä ja laitehankintoja aikataulutettaessa tulee huomioida myös kaikki pääkeskustilaan sekä tontin sisäiseen verkonhaltijan keskijännitekaapelireitin rakentamiseen liittyvät työt.

### Muuntaja

Perinteisesti öljyeristeiset muuntajat ovat olleet käytetympiä, mutta esimerkiksi pohjavesialueilla voidaan päätyä suoraan valitsemaan kuivamuuntaja. Kuivamuuntajien positiivisiksi puoliksi öljymuuntajiin nähden voidaan lukea

- itsestään sammuminen, pienempi palokuorma
- pienet huoltokustannukset
- pieni koko
- hyvä dynaaminen oikosulkukestoisuus.

Öljymuuntajat puolestaan ovat parempia luotettavuuden, ylikuormitettavuuden ja melutason osa-alueilla. Lisäksi kuivamuuntajien hankintahinta on noin 1,3–2-kertainen vastaavan kokoiseen öljymuuntajaan nähden. [22; 23 s.54–55.]

10 kV:n alueeseen liityttäessä on syytä olla yhteydessä verkonhaltijaan ja tiedustella mahdollisesta käyttöjännitteen korotuksesta tulevaisuudesta. Mikäli näin on, tulee hankittavan muuntajan soveltua kahdelle yläjännitealueelle. Oikean yläjännitteen valinta voidaan suorittaa perinteisen jännitteen säätöön tarkoitetun väliottokytkimen tilalle asennetun jännitteenvaihtokytkimen avulla. [5.]

Muuntajan käyttöiän ylläpitämiseksi tulee muuntamossa olla riittävä jäähdytys, jolla poistetaan häviöistä syntyvä lämpö. Luonnollinen ilmanvaihto on teoriassa yksi vaihtoehto oikein sijoitetuilla tulo- ja poistoaukoilla, mutta kiinteistöissä luonnollinen ilmanvaihto on usein riittämätön. Parhaimpaan lopputulokseen päästään esimerkkikohteessakin käytetyllä ilmanvaihdon, puhallinkonvektoreiden sekä kuivamuuntajan varusteisiin kuuluneiden lisäpuhaltimien yhdistelmällä.

## Kojeisto

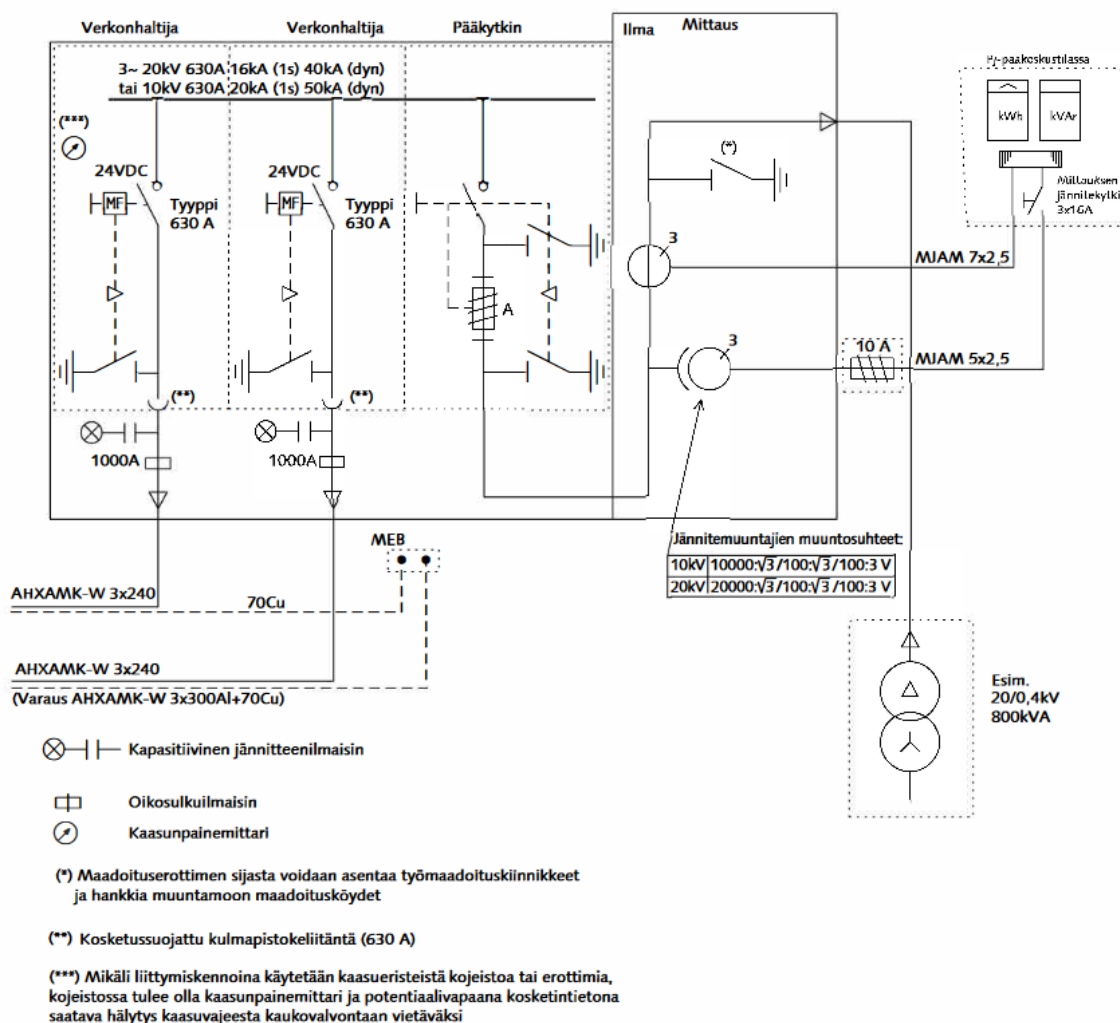
Keskijännitekojeistot voidaan jakaa tyyppinsä puolesta RMU-kojeistoihin sekä modulaarisiin kennokojeistoihin. RMU- eli rengassyöttökojeisto voi koostua mm. kahdesta liittämiserottimesta ja yhdestä varokekuormanerottimesta, jotka sijaitsevat kaasueristyksen näkökulmasta yhtenäisessä tilassa. Yksinkertaisen rakenteen puolesta ne soveltuvat esimerkiksi alamuuntamokäyttöön sekä lisämittauskennolla varustettuna myös yhden muuntajan muuntamon kojeistoiksi. Kennokojeisto on kuitenkin parempi ratkaisu myöhemmin tapahtuvan laajennettavuuden sekä vikakestoisuuden näkökulmasta. RMU-kojeistossa tapahtuva oikosulku saattaa aiheuttaa koko kojeiston vaurioitumisen. Yleisesti ottaen kojeistot ovat joko SF<sub>6</sub>- tai ilmaeristeisiä ja kytkinlaitteet SF<sub>6</sub>- tai tyhjiöeristeisiä. SF<sub>6</sub>-kaasueristyksellä päästään ilmaeristykseen verraten pienempiin mittoihin, parempaan käyttövarmuuteen sekä pienempiin valokaaripaineisiin vikatilanteissa.

Vuototilanteiden kannalta SF<sub>6</sub>-kaasu on kuitenkin voimakas kasvihuonekaasu sekä myrkyllinen kytkentätoimenpiteiden aikana tapahtuneiden valokaarien johdosta. [5.]

Kojeiston mitoitukseen käytettävät sähköiset arvot ovat pääpiirteittäin yleispätevät muun muassa kiskoston nimellisvirran ja oikosulkukestoisuuden osalta verkonhaltijasta riippumatta. Verkonhaltijoilla on kuitenkin myös yksityiskohtaisia vaatimuksia ohjeistuksissaan kojeiston toteutuksen suhteen, mikä tulee huomioida valmistuksessa. Kojeiston rakenteen ja toteutuksen osalta suurimpia muuttuvia tekijöitä ovat muun muassa

- pääkytkinlaite (varokekuormanerotin / katkaisija)
- muuntajalähtöjen määrä
- mahdollisen maasulkusuojauksen toteutus
- kennojärjestys (vasemmalta / oikealta alkaen)
- kolmas liittymiskenno (tarvittaessa)

Kuvassa 10 on esitetty esimerkki yhden muuntajan muuntamon keskijännitekojeiston pääkaaviosta.



Kuva 10. Keskijännitekojeiston pääkaavioesimerkki (Helen) [24].

Kuvasta 10 nähdään kojeiston kennojaako ja pääkomponentit eli kaksi moottoriohjattua liittymiserotinta, varokekuormanerotin sekä mittamuuntajat. Useamman muuntajalähdön tapauksessa lähtökennot sijaitsevat mittauskennon jälkeen. Tällöin kojeiston pääkytkimenä toimisi katkaisija, jonka suojausmittamuuntajat ovat järjestyksessä ennen energiamittauksen muuntajia.

#### Paikalleen haalaus

Haastavissa kohteissa laitteiston kuljetusreitit ja tarvittavien lisärakenteiden suunnittelu ajoittuu jo suunnitteluvaiheeseen. Pistekuorman osalta muuntaja on merkittävästi haastavampi kuin verrattain kevyihin kennoihin jaoteltu kojeisto. 1250 kVA:n kuivamuuntajien painot ovat esimerkiksi valmistajasta hieman vaihdellen noin 3000 kg:n luokkaa.

Paikalleen haalauksessa ja asennuksessa tulee noudattaa valmistajien laatimia ohjeita. Muuntajan nostoja varten on esimerkiksi määritelty tietyt pisteet, kuten nostokorvakkeet ja pohjakotelon nostoalue, joista noston tulee tapahtua. Käämeihin, liittimiin tai muihin osiin ei saa kohdistaa räsitusta. Varastointi työmaalla ennen asennusta tulee järjestää riittävän kuivassa ja puhtaassa ympäristössä mieluiten omissa pakkauksissaan. Ulkona varastoimista on pyrittävä välttämään. Lisäksi muuntamotilan rakennustöiden tulisi olla riittävän valmiissa vaiheessa ennen muuntajan ja kojeiston paikalleen haalausta tai tarvittaessa joudutaan harkitsemaan esimerkiksi muuntajan lisäsuojaamista pölyltä ja iskuilta, mikäli muuntajan ympärillä joudutaan työskentelemään. [22; 25.]

### Keskijännitekaapelointi

Kaapelityyppinä kojeiston ja muuntajan välillä käytetään usein HXCMK-kaapelia (kuva 11). Liityntä jakeluverkkoon on uusissa asennuksissa AHXAMK-W-kaapelilla (kuva 12), jota voidaan myös käyttää kiinteistön sisäisten alamuuntamoiden syötöissä sekä muuntajakaapeloinnissa. Asennettavuuden kannalta aiemmin mainittu antaa kuitenkin enemmän mahdollisuuksia pienemmän sallitun taivutussäteensä myötä.



Kuva 11. Poikkileikkaus HXCMK-kaapelin rakenteesta [26].



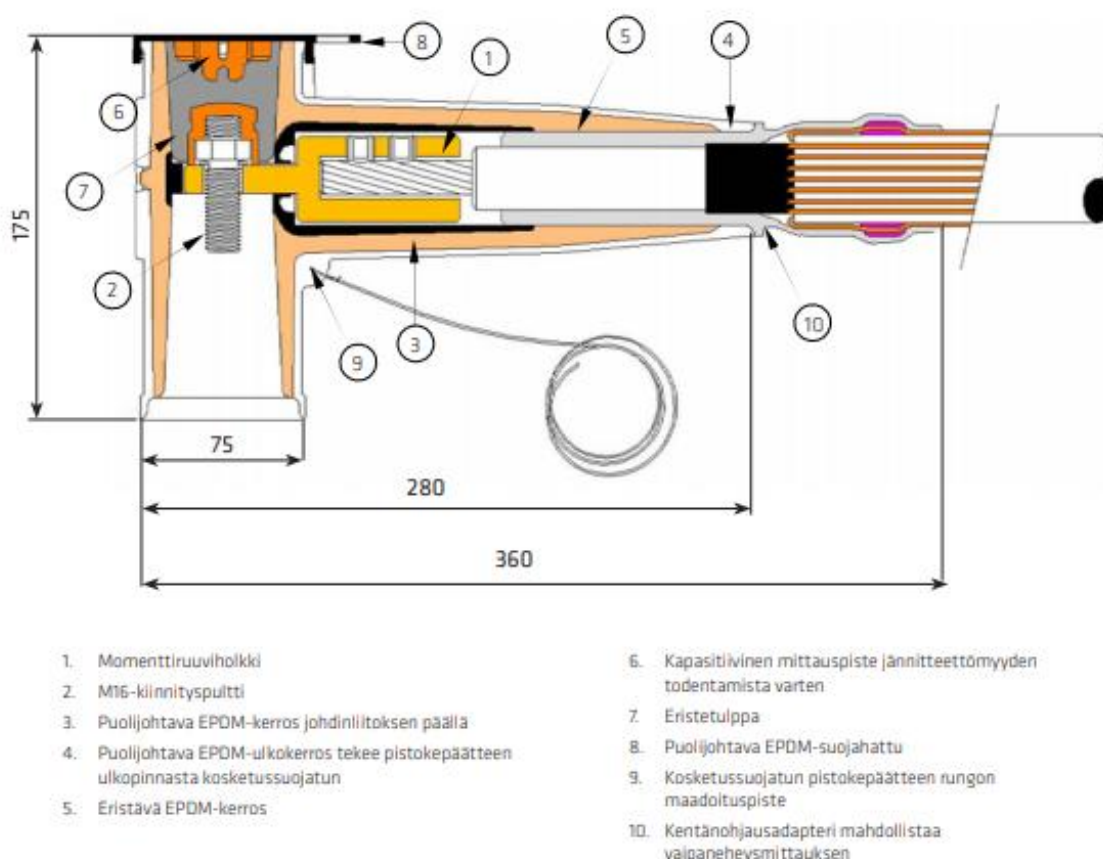
Kuva 12. Poikkileikkaus AHXAMK-W-kaapelin rakenteesta [27].

Kaapelit liitetään muuntajaan ja keskijännitekojeistoon päätteiden välityksellä. Kaapelin sähkökentän tiheys muuttuu päätteiden kohdalla, jossa kaapelin oma eriste on kuorittu pois. Sähkökentän voimakkuuden tihentymät ovat alttiina osittaispurkauksille, jotka

ajan saatossa saattavat johtaa läpilyönteihin. Pääteen rakenteella ja materiaaleilla kentänvoimakkuuden eroa pyritään lieventämään. Pääteen teossa tulee noudattaa tarkasti päätevalmistajan asennusohjeita, jotta kentänohjaus toteutuu halutusti. Nykyisin käytettäviä päätetyyppejä ovat

- lämpökutistepääte
- kylmäkutistepääte
- kulmapistokepääte.

Edellä luetelluista tyypeistä lämpökutistepääte on käytetyin tyyppi, mutta muut vaihtoehdot ovat yleistymässä. Kosketussuojattujen kulmapistokepäätteiden käyttö mahdollistaa huomattavan turvallisuuden parantumisen sekä helpomman asennettavuuden ahtaissa tiloissa mallinsa myötä (kuva 13).



Kuva 13. Kulmapistokepäätteen poikkileikkaus sivusuunnasta [28].



Esimerkkikohteessa kulmapistoketekniikan käyttö kojeistossa oli verkonhaltijan vaatimus. Pienjännitteiseen kutistejatkoon verraten keskijännitejatkossa ja -päätteissä on asennustyössä muutamia poikkeavia ja tarkkuutta vaativia työvaiheita. Pääteen teko voidaan pääpiirteittäin jakaa seuraaviin vaiheisiin:

- ulkovaipan kuorinta
- hohtosuojan poisto
- johdineristeen poisto
- kaapelikengän asennus
- kentänohjausnauhan, -massan ja -letkun asennus
- kuparipunoksen asennus
- tiivistysmassan asennus
- pintakutisteletkun asennus.

Asennuspaikalla on tarvittavaan työtarkkuuteen pääsemiseksi huolehdittava riittävästä työskentelytilasta sekä kiinnitettävä erityistä huomiota työskentelyolosuhteiden ja materiaalin puhtauteen, ettei pääteen sisälle pääse likaa tai ilmataskuja. [29.]

### 5.3 Tilan vaatimukset

#### Sijainti

Muuntamotila tulisi mahdollisuuksien mukaan sijoittaa erilliseen rakennukseen tai maan tasalle rakennuksen ulkoreunalle, jolloin muuntamoon päästään käsiksi suoraan ulkoa. Tällöin verkonhaltija pääsee vaivattomasti kulkemaan muuntamotilaan mahdollisessa vianselvitystilanteessa. Lisäksi asiakkaan keskijännitekojeistoa syöttävän keskijännitekaapelin asennuksen palonkestävyydestä ja käyttövarmuudesta voidaan varmistua maahan asentamalla sekä minimoimalla kaapelin reitti kiinteistön sisällä. Hankala sijainti vaikeuttaa oleellisesti myös muuntajan ja kojeiston paikalleen haalausta sekä esimerkiksi muuntajan vaihtoa mahdollisen laiterikon myötä.

Aina muuntamoa ei kuitenkaan voida sijoittaa kaikkien edellä mainittujen kohtien mukaiseen sijaintiin rakennuksessa. Esimerkkikohteessa määrittävänä tekijänä oli verkonhaltijan oman muuntamon sijainti kiinteistössä, jonka viereen asiakasmuuntamo sijoitettiin. Molemmat muuntamot sijaitsevat rakennuksen ulkoreunalla, mutta maanpintaan

nähdessä ensimmäisessä kellarikerroksessa. Tämän ratkaisun myötä keskijännitekaapelointi kiinteistön sisällä saatiin pidettyä minimissään.

Mainitunlaisessa tapauksessa muuntamolle johtavan kulkureitin varrella olevat ovet tulee saada auki muutenkin kuin sähkötoimisesti. Avainsäilön sijoittamista rakennuksen sisäänkäynnin yhteyteen tulee myös harkita, mikäli kulkureitillä tarvitaan avaimia muuntamon oven lisäksi. [30.]

#### Palo-osastointi

Kiinteistömuuntamosta tulee sen sisältämien suurjännitelaitteiden myötä rakentaa oma palotekninen osasto, mikäli samassa rakennuksessa on myös muuta toimintaa [31, s.62]. Muuntamolle annetun ajallisen palonkestovaatimuksen suuruus riippuu öljyeristeisen muuntajan sisältämän öljyn määrästä sekä hartsimuuntajan paloluokasta. Palonkestoluokka ilmaisee sen ajan minuuteissa, jonka verran rakennusosa säilyttää palotilanteessa tiiviyden (E) sekä eristävyyden (I). Taulukossa 1 on esitetty vähimmäisvaatimukset öljy- ja kuivamuuntajien tapauksissa.

Taulukko 1. Sisätilojen muuntamoasennusten vähimmäisvaatimukset [31, s.79].

Öljyeristeiset muuntajat (O)	Öljymäärä	Osastointivaatimus
	< 200 l	EI 60
	200-1000 l	EI 120 / EI 60 + automaattinen sammutuslaitteisto
	> 1000 l	EI 240 / EI 60 + automaattinen sammutuslaitteisto

Kuivamuuntajat (A)	Paloluokka	
	F0	EI 60
	F1	Pintojen täytettävä luokan B-s1,d0 vaatimukset

Paremmalla paloluokalla F1 hartsimuuntajien tapauksessa muuntamolle ei varsinaisesti ole annettu ajallista palonkestovaatimusta, mutta tilan pintojen tulee olla esitetyn luokan mukaisia. Käytännössä luokkaan B-s,d0 sisältyvät esimerkiksi kipsilevyt [32]. Suurten öljymuuntajien tapauksessa palonkestovaatimus kevenee huomattavasti käytettäessä automaattista sammutuslaitteistoa.

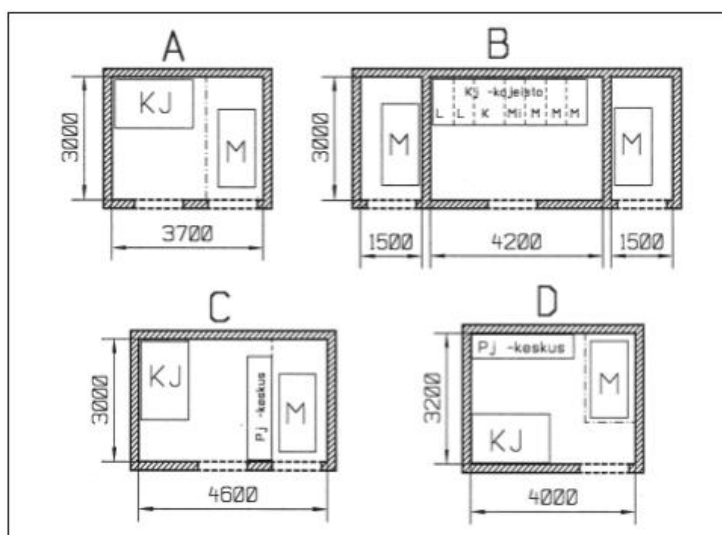
Muuntamon ovien palonkesto tulee tilalle asetetuista vaatimuksista huolimatta olla vähintään 60 minuuttia. Mikäli ovet aukeavat suoraan ulkoilmaan, riittää, etteivät ne ole

valmistettu palonarasta materiaalista. Tilan palonkestoluokitus tulee huomioida myös kaapeli- ja putkiläpivienneissä.

Ympäristöasioiden johdosta öljynkeruualtaan rakentamiseen tulee varautua öljymuuntajien tapauksessa. Yleisohjeena allas tulee rakentaa, jos nestemäärä ylittää tuhat litraa, ellei kansallisissa tai paikallisissa määräyksissä ole toisin määrätty. Öljyn vuotoa voidaan torjua lisäksi käyttämällä esimerkiksi kynnyksiä tai keräilyaluetta. [31, s.79–81.]

### Muuntamon tilantarve

Muuntamotilan vaadittava koko ja tilaratkaisu määrittyvät pitkälti keskijännitekojeiston rakenteen ja muuntajien määrän mukaan. Kojetoissa eristeenä yleistyneen SF<sub>6</sub>-kaasun myötä keskijännitekojeistojen koko on pienentynyt huomattavasti aiempiin ilmaeristeisiin kojeistoihin nähden. Esimerkkikohteessa verkonhaltijan osalta sijoitteluratkaisun vaatimus oli kuvan 14 vaihtoehdon A:n kaltainen, jossa pienjännitepääkeskus sijaitsee erillisessä pääkeskustilassa. Kohteessa muuntamotilaan johti ainoastaan yksi ovi ja kulku muuntajalle oli mahdollistettu ovella varustetun suojaseinän (katkoviiva kuvassa 14) kautta. Suurissa, useamman muuntajan kiinteistöissä puolestaan keskijännitekojeisto sekä jokainen muuntaja voidaan sijoittaa tarvittaessa omaan palotilaansa esimerkin B mukaisesti. Vaihtoehdot C ja D ovat yleisempiä verkonhaltijoiden omista muuntamoissa.



Kuva 14. Muuntamon laitteistojen sijoitteluesimerkit [5].

Hartsimuuntajan jokaista osaa yläjännitekäämin hartsin mukaan lukien tulee pitää jännitteisenä. Muuntajan sijoituksessa ja kaapeleiden reitityksessä tulee varmistua riittävästä turvaetäisyyksistä, jotka määräytyvät muuntajan eristystason mukaan. Asennusetäisyyksissä tulee noudattaa muuntajavalmistajan ilmoittamia arvoja. Huomioitavia etäisyyksivälejä ovat

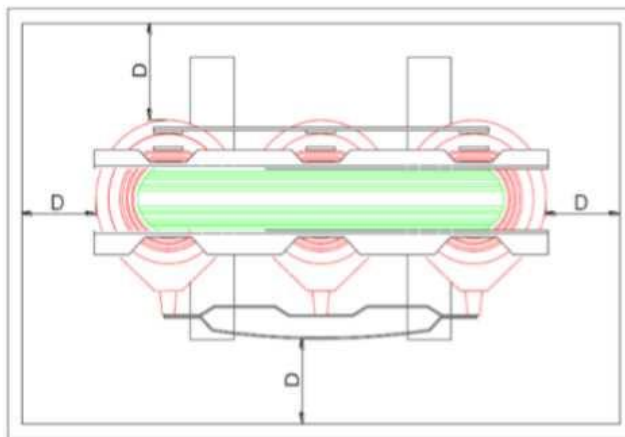
- käämien / kolmiokytkennän pinta - seinät / muut asennukset
- ala- / yläjännitekaapelit - muuntajan osat
- alajännitekaapelit - keskijännitekaapelit.

Taulukossa 2 on esitelty esimerkkikohteen muuntajavalmistajan asennusohjeen mukaisia etäisyyksiä.

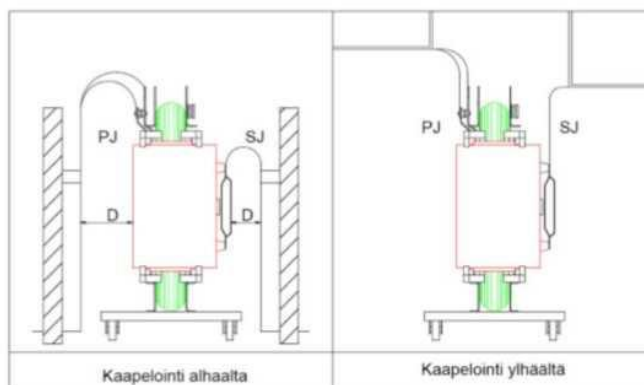
Taulukko 2. Pienimmät suojaetäisyydet käytettäessä hartsimuuntajaa [22].

Nimellisjännite [kV]	Eristystaso [kV]		Eristysväli [mm]	Turvaetäisyys "D" [mm]
	Jännitekesto	Syöksyjännitekesto		
3,6	10	20-40	60	150
7,2	20	40-60	70-90	150
12	28	60-75	100-120	150
17,5	38	75-95	130-160	180-220
24	50	95-125	170-220	220-280
36	70	145-170	270-320	340-400

Kuvissa 15 ja 16 on havainnollistettu edellä mainittuja vähimmäisetäisyyksiä.



Kuva 15. Muuntajan sijoitus suhteessa seiniin [24].



Kuva 16. Kaapeleiden reitityksessä huomioitavia etäisyyksiä [22].

Mikäli muuntaja, päätteet sekä kiskosillan liitanta on asennettu suositellun kosketus-suojatun asennustavan mukaisesti, ei muuntajaa tarvitse ympäröidä suojaseinällä (kuva 14 katkoviiva) [5]. Hartsimuuntaja voidaan myös sijoittaa suojakoteloinnin sisään kosketussuojauksen täyttämiseksi. Verkkorakenteisen suojaseinän osalta tulee huomioida mahdollisesti suuremmat etäisyysvaatimukset muuntajavalmistajan asennusohjeessa. [25.]

Muuntamon sisäisten laitteiden sijoittelussa tulee huomioida 0,8 m:n hoitotilavaatimus suoraan kojeiston etupuolella sekä poistumistien 0,5 m:n vähimmäisleveys aukinaiset ovet ja muut osat huomioiden. Kojeston sijoittamisessa tulee myös huomioida valmistajan ohjeistus taakse ja sivuille jätettävän tilan osalta. Lisäksi muuntamotilan vapaaksi jäävän korkeuden tulee yleisesti ottaen olla 2500 mm. [5.]

## 5.4 Maadoitukset

Suurjännitteisen laitteiston maadoitusten suunnittelu edellyttää tarkempaa tarkastelua pienjännitteeseen verrattuna muassa mahdollisen kaksoismaasulun aiheuttaman terminen rasituksen ja maadoituselektrodin vaatimusten muodossa. Muuntamoa varten asennetaan aina maadoituselektrodi. [5.]

Maadoitusten suunnittelun lähtötietoina käytetään verkonhaltijan ilmoittamia suurimman maasulkuvirran, suojauksen toiminta-ajan sekä vaaditun maadoitusresistanssin arvoja. Lisäksi maaperän ominaisuuksilla kuten resistiivisyydellä on suuri vaikutus maadoituselektrodin mitoitukseen sekä itse toteutusratkaisuun. Suunnittelijan on myös syytä tiedustella verkonhaltijan maadoitusverkon rakenteesta ja laajan maadoitusverkon olemassaolosta kohteen alueella. Verkonhaltija on omalta osaltaan voinut jo määrittää vähimmäispoikkipinnat asiakasmuuntamon keskijänniteasennusten suojajohtimille. Taulukossa 3 on esitelty Helen Sähköverkko Oy:n ohjeistuksen arvoja.

Taulukko 3. Helenin antamat maadoitusten lähtötiedot [30].

Nimellisjännite	20 kV	10 kV
Suurin maasulkuvirta	400 A	200 A
Maasulkusuojauksen toiminta-aika <sup>(1)</sup>	0,5 s	hälyttävä
Maadoitusresistanssin enintään	1,13 Ω	0,75 Ω
KJ-puolen suojajohdin vähintään (Cu)	16 mm <sup>2</sup>	25 mm <sup>2</sup> <sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> Helen Sähköverkko Oy:n maasulkusuojaus

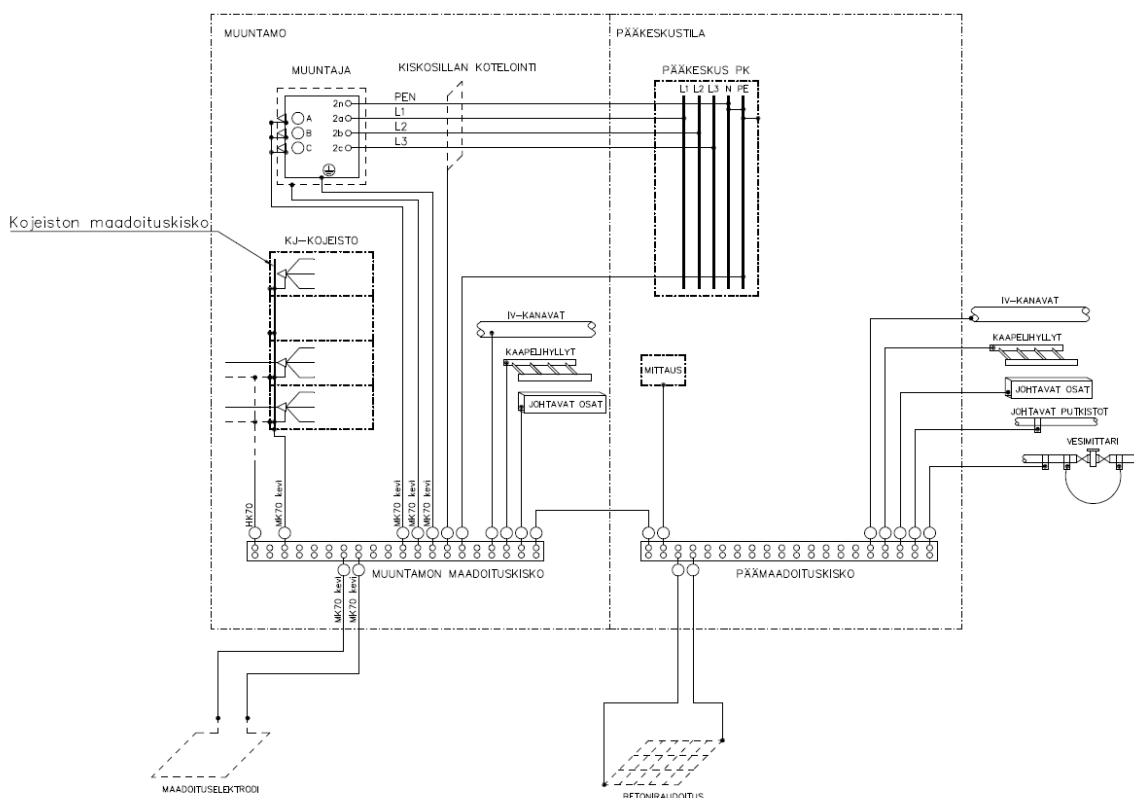
<sup>(2)</sup> 25 mm<sup>2</sup> Cu eristämättömänä tai 70 mm<sup>2</sup> Cu eristepäällysteisenä

Mikäli suojamaadoitusjohtimina käytetään paljasta kuparia eristetyn sijaan, päästään mitoituksessa pienempiin poikkipintoihin. PVC-eristeisellä johtimella oikosulun jälkeinen suurin hyväksytty lämpötila on 160 °C, mutta paljaalla johtimella voidaan mitoitus tehdä 300 °C:n loppulämpötilalla. Tällöin tulee kuitenkin huomioida ja estää mahdollinen metallien välinen korroosio kupariköyden ja alumiinisten johtoreittien välillä. ST-kortin 53.11:n mukaan kaksoismaasulun lämpövaikutusten myötä yleisesti suositeltava poikkipinta suojamaadoitus- ja maadoitusjohtimille on 50 mm<sup>2</sup> (Cu), mikäli esimerkiksi verkonhaltijan vaatimusten myötä ei päädytä suurempaan [5].

Asennusten maadoitusresistanssia tai maadoitusjännitettä ei tarvitse todentaa tai mitata laajan maadoitusverkon alueella, mikäli voidaan luotettavasti todistaa, että kohde on yhteydessä siihen. Tällöin maadoitusjärjestelmän perussuunnitelma on riittävä. Tyypillisiä laajoja maadoitusjärjestelmiä ovat tiheästi rakennetut kaupunkialueet, jossa muuntamoiden maadoitukset ovat yhteydessä toisiinsa jakeluverkkokaapeleiden kuparisien keskusköysien välityksellä. Käytännössä tällaisilla alueilla muuntamoiden keski- ja pienjännitepuolen maadoitukset yhdistetään toisiinsa lähes aina. Mikäli suur- ja pienjännitemaadoitukset ovat yhteydessä toisiinsa, mutta eivät ole osa laajaa maadoitusjärjestelmää, saattaa osa keskijänniteverkon vian myötä aiheutuvasta maadoitusjännitteestä esiintyä myös pienjänniteverkon puolella. Laajoissa maadoitusjärjestelmissä maasulkuvirrat taas jakautuvat siten, että paikallisissa järjestelmissä esiintyvät potentiaalinnousut pienenevät [31, s.27, 103, 138, 154.]

Verkonhaltijan ohjeistuksen mukaisesti muuntaja- sekä pääkeskustilaan asennetaan omat erilliset maadoituskiskot, jotka yhdistetään toisiinsa. Muuntamon maadoituskiskoon yhdistetään kuvan 17 esimerkkimaadoituskaavion (liite 1) mukaisesti:

- jakeluverkon kaapeleiden kupariset keskusköydet
- maadoituselektrodi
- muuntaja kaapelipäätteet mukaan lukien
- keskijännitekojeisto
- pienjännitepääkeskus
- pienjännitepuolen maadoituskisko
- kiskosillan kotelointi
- muuntamon sisäiset jännitteelle alttiit osat.



Kuva 17. Esimerkki keskijänniteliittymän maadoituskaaviosta.

Harhavirtojen ja sähkömagneettisten häiriöiden estämiseksi kiinteistön muut kaapelihyllyt, putkistot ja johtavat osat, jotka ulottuvat muuntamon ulkopuolelle tulisi kuitenkin yhdistää pienjännitepuolen maadoituskiskoon. Mahdollisuuksien mukaan tulee myös huolehtia esimerkiksi eristävien aluslevyjen avulla, etteivät muuntamon suurjännitelaitteistot ole suoraan yhteydessä maadoitettaviin rakenteisiin. [30; 33, s.64.]

## 5.5 Muuntamotilan sähkönsyöttö

Muuntamotila tulee ohjeistuksen mukaan varustaa omalla ryhmäkeskuksellaan ja vähintään yhdellä vikavirtasuojaamattomalla pistorasialla palvelemaan tilan valaistusta, apusähkön tarvetta sekä huoltotöitä. Valaistuksen osalta tulee huomioida vaatimus yhdestä valaisinpisteestä, joka ohjautuu ovikytkimen avulla päälle tilan ovea avattaessa. Tilan ilmastointi- tai ilmanvaihtolaitteiden sijoittelussa tulee lisäksi huomioida, että ne ovat huollettavissa silloinkin, kun muuntamo on jännitteinen. Parhaiten tähän päädy-



tään esimerkiksi käyttämällä lattialla seisovaa puhallinkonvektorimallia, mikäli tilantarve ei ole esteenä. [30.]

## 5.6 Mittarointi

Keskijänniteliittymässä sähköenergian mittaus toteutetaan aina epäsuorana mittauksena keskijännitekojeistoon sijoitetuilla vaihekohtaisilla mittamuuntajilla. Mittamuuntajien avulla jännite ja virta alennetaan sähkömittareille sopivaan tasoon. Keskijännitekojeistossa muuntajat ovat pääkatkaisijan jälkeen omassa mittauskennossaan. Jännitemuuntajat ovat virran kulkusuunnassa ennen virtamuuntajia.

Mittamuuntajien asennus ja hankinta kuuluvat tavanomaisesti kohteen sähköurakoitsijan tai kojeistovalmistajan vastuulle, mutta osa verkonhaltijoista toimittaa mittamuuntajia [5]. Viime kädessä verkonhaltija hyväksyy kuitenkin mittamuuntajien tekniset arvot. Hankintajaosta riippuen mittamuuntajista pitää hyväksyntää varten toimittaa seuraavat tiedot:

- kohteen osoite
- liittymän kokonaismuuntajateho
- mittamuuntajien nimellisarvot
- kippivä rähtelyvastuksen arvot (vastus ja teho)
- kohteen huipputeho (näennäis- tai pätöteho)
- mittamuuntajien ja mittarien välinen kaapelipituus.

### Virtamuuntajat

Virtamuuntajien valinta määräytyy kohteen muuntajatehon perusteella. Taulukossa 4 on Helen Sähköverkko Oy:n määrittelemiä virtamuuntajien nimellisarvoja.

Taulukko 4. Virtamuuntajien nimellisarvoja Helenin 10 kV:n alueella [34].

Tarkkuusluokka	Term. oikosulkukestoisuus (1s tehollisarvo)
0,2S	min. 20 kA

Muuntajateho yht. [kVA]	Virtamuuntaja	KytKentä
0 - 800	2 x 50 / 5 A	50 / 5 A
800 - 1250	2 x 75 / 5 A	75 / 5 A
1250 - 1700	2 x 100 / 5 A	100 / 5 A
1700 - 2500	2 x 150 / 5 A	150 / 5 A
2500 - 3500	2 x 200 / 5 A	200 / 5 A
3500 - 5200	2 x 300 / 5 A	300 / 5 A

Virtamuuntajat varustetaan kahdella virta-alueella tulevan tehonlisäyksen varalta. Asennettaessa muuntajat kytketään pienemmälle alueelle. Virtamuuntajien valinnassa tulee vielä huomioida, että mittamuuntajan läpi kulkevan virran täytyy pysyä 20–120 %:ssa ensiöpuolen nimellisvirrasta.

Sähköurakoitsijan osalta tärkeä asia virtamuuntajien valinnassa on taakka. Taakalla tarkoitetaan mittauspiirin kuormaa eli impedanssia, joka muodostuu kaapeleista, sähkömittarista ja liitoksista. Taakka ilmoitetaan yleensä näennäistehon muodossa. Taakan tulee olla 25–100 % virtamuuntajan nimellistaakasta, jotta tarkkuusluokassa pysyminen varmistuu [35]. Suurin muuttuva tekijä taakan suhteen on mittauspiirien kaapelipituudet. Pääsääntöisesti mittauspiireissä käytetään kaapelia, jonka poikkipinta-ala on 2,5 mm<sup>2</sup>. Tarvittaessa voidaan kuitenkin joutua käyttämään poikkipinta-alaltaan suurempaa kaapelia tai mahdollisesti lisävastuksia, jotta pysytään annetuissa rajoissa.

Turvallisuussyistä virtamuuntajien toisiopiirit tulee aina pitää oikosuljettuina, jos niihin ei ole kytketty mittaria. Mikäli toisiopiiri jää avoimeksi ensiöpiirin ollessa jännitteinen, on seurauksena toisiopuolelle indusoitunut hengenvaarallinen jännite sekä muuntajan kuumeneminen ja tuhoutuminen [36 s.51]. [34.]

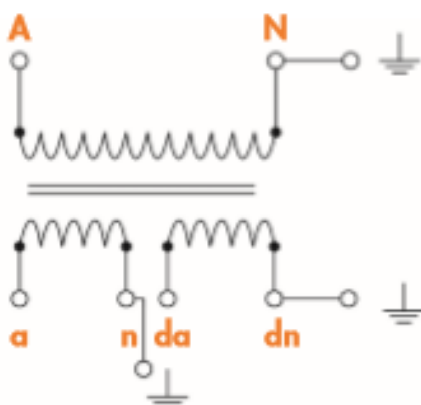
## Jännitemuuntajat

Virtamuuntajien lailla jännitemuuntajien valinnassa tulee myös ottaa huomioon mittauspiirien taakka, jonka tulee pysyä annettujen rajojen sisällä suhteessa mittamuuntajan nimellisarvoihin. Taulukossa 5 on esitetty jännitemuuntajien arvoja.

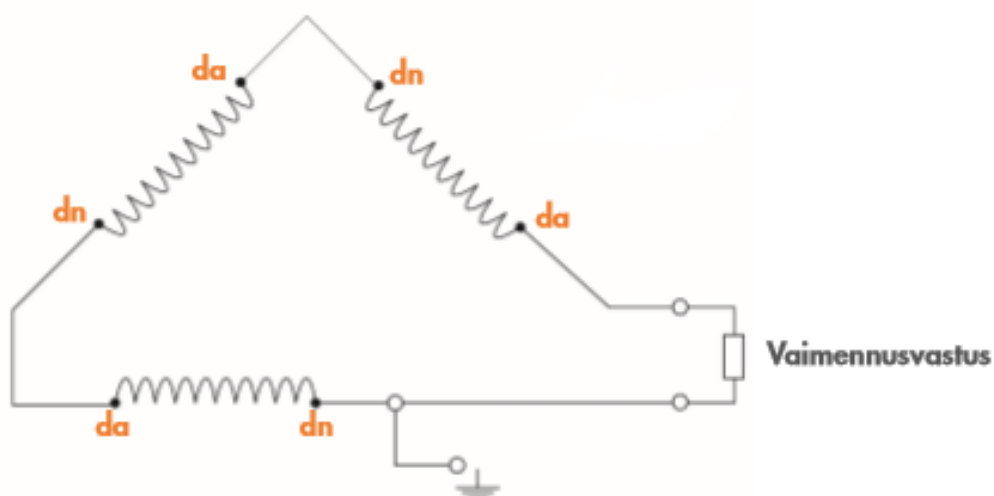
Taulukko 5. Jännitemuuntajille määritellyt arvot (Helen) [34].

Tarkkuusluokka	Muuntosuhde: 10 kV
0,2	(10000:√3 / 100:√3 / 100:3)V
	(A-N / a-n / da-dn)

Verkon kytkentätoimenpiteiden tai maasulun myötä saattaa yksinapaisesti maadoitettujen induktiivisten jännitemuuntajien sekä verkon kapasitanssien välillä syntyä rautaresonanssivärähtelyä, mikä voi pahimmillaan johtaa jännitemuuntajien ylikuormitukseen ja tuhoutumiseen. Värähtely voidaan vaimentaa sopivalla vaimennusvastuksella, joka kytketään kolmen kuvan 18 mukaisen jännitemuuntajan apukäämien (da-dn) muodostamaan avokolmioon (kuva 19). Värähtelyvastuksen mitoitus ja valinta määrittyvät pitkälti käytetyn mittamuuntajavalmistajan tyyppikohtaisesti hyväksymien teho- sekä vastusarvojen myötä. Vaimennusvastuksen sijoituksessa tulee huomioida käytönaikainen lämpeneminen. [37.]



Kuva 18. Jännitemuuntaja, jossa apukäämi värähtelyvastuksen avokolmiokytkentää varten [37].



Kuva 19. Kolmen jännitemuuntajan apukäämin muodostama avokolmiokytkentä, johon on kytketty vaimennusvastus [37].

#### Muut asennukset

Keskijännitekojeiston ja mittarikotelon välisien mittaussiirien kaapelityypit valitaan asennusolojen mukaan huomioiden sähkömagneettiset häiriöt. Sähkötilojen ulkopuolella sekä muuntamotilassa kaapeli suojataan metallisella suojaputkella, –kourulla tai käytetään metallisen mekaanisen suojakerroksen omaavaa kaapelia, kuten esimerkiksi MJAM. Jännitteen ja virran mittaussiirit tulee kaapeloida erillisillä kaapeleilla. Kaapelihyllylle asennettuna ne tulee lisäksi erottaa muista kiinnittämällä esimerkiksi kaapelihyllyn alapuolelle tai rakentamalla oma kaapelireitti. Kohteen sähköurakoitsija vastaa mittaussiirien kaapeloinneista, kytkennöistä sekä niiden tarkastamisesta. Sähköurakoitsijan hankinta- ja asennusvastuulle kuuluu myös mittarikotelo sähkömittaria varten. Kotelon tulee sisältää 3-napainen kytkin jännitemittaussiirille, riviliittimet ja tarvittavat johdotukset siten, että ainoa verkonhaltijalle jäävä työ on mittarin paikalleen asentaminen ja kytkeminen. [30; 34.]

#### Mittarointitilaus

Kohteen sähkölaitteiston rakentavan sähköurakoitsijan tulee tehdä mittarointitilaus verkonhaltijalle vähintään kaksi viikkoa (Helen) ennen mittaroinnin suoritusta. Tilauksessa ilmoitetaan mm. kohteen sekä liittyjän yleiset tiedot, sähkölaitteiston rakentajan tiedot sekä mittauksen tarkat tekniset tiedot. Mittarin asennuksen ajankohtana tulee urakoitsi-

jan mittarointiin liittyvät asennukset olla valmiit ja tarkastetut sekä sähkönostosopimukset tilaajan osalta kunnossa. Jännite on oltava mittarointiajankohtana kytkettävissä mittareille, jotta verkonhaltija voi omalta osaltaan todeta etäluettavan mittarin ja etäluennan oikeanmukaisen toiminnan. 3G-verkon riittävä kuuluvuus mittarillassa on syytä varmistaa ennen mittarointiajankohtaa, jotta voidaan tarvittaessa putkittaa lisäantennille reitti toiseen tilaan kuuluvuuden takaamiseksi. Mikäli verkonhaltija ei pysty suorittamaan mittarointia varattuna ajankohtana liittyjästä tai sähköurakoitsijasta johtuvasta syystä, laskuttaa verkonhaltija turhasta käynnistä. Mikäli kohteessa myöhemmässä vaiheessa joudutaan jostain syystä katkaisemaan jännite etäluettavalta mittarilta, tulee asiasta tiedonsiirtoyhteyden katkeamisen vuoksi sopia verkonhaltijan kanssa etukäteen. [38; 39.]

## 5.7 Suojaukset

### Oikosulkusuojaus

Yhden muuntajan muuntamoissa oikosulkusuojaus voidaan käyttää kojeiston pääkytkimenä toimivaa varokekuormanerotinta tai katkaisijaa. Mikäli muuntajia on useampi, on kojeistossa oltava erillinen pääkatkaisija sekä muuntajalähtökohtaiset suoja- ja kytkinlaitteet. Varokekuormanerotuksessa suojaus perustuu suurjännitesulakkeiden käyttöön, kun taas katkaisija saa laukaisukäskyn suojausreleiltä. Suojareleet antavat laukaisukäskyn, kun suojausmittamuuntajien välityksellä mitatun virran arvo ylittää asetteluarvot. Suojareleet voivat saada toimintaenergiansa kuormitusvirrasta, erillisestä apusähköjärjestelmästä tai esimerkiksi UPS-laitteelta. Helen suosittelee omalta osaltaan kuormitusvirrasta energian saavaa vaihtoehtoa. Taulukossa 6 on esitetty Helenin suositellut hyväksymät arvot pääkatkaisijan suoja-asetteluille. [5; 40.]

Taulukko 6. Pääkatkaisijan asetteluvaatimukset (Helen) [40].

<b>Nimellisjännite [kV]</b>	20	10
<b>Hidastettu laukaisu [A]</b>	750	1000
<b>Pikalaukaisu [A]</b>	1800	2000
<b>Suojauksen toiminta-aika [s]</b>	Hidastettu	0,4
	Pika	0,1

Poikkeustapauksissa asetteluista on mahdollista neuvotella verkonhaltijan asiantuntijan kanssa esimerkiksi pikalaukaisuvirran arvon suhteen. Asetteluohjeena hidastetun laukaisun virran tulee olla suurempi kuin muuntajien kokonaisnimellisvirta. Pikalaukaisuvirran tulisi puolestaan olla suurempi kuin muuntajien yhteenlaskettu kytkentävirtasysäys.

Varokekuormanerotimien tapauksessa suojaavien suurjännitesulakkeiden valinnassa tulee huomioida muuntaja- ja kojeistovalmistajien suositukset. Taulukossa 7 on esitetty ohjeellisia arvoja sulakekoon valintaan:

Taulukko 7. Ohjeelliset sulakekoot muuntajan suojaukseen [5].

Muuntaja [kVA]	Jännite 10 kV	Jännite 20 kV
<b>200</b>	25	16
<b>315</b>	40	25
<b>500</b>	63	25
<b>800</b>	63	40
<b>1000</b>	100	63
<b>1250</b>	100	63
<b>1600</b>	100	63

Taulukon 7 ohjeellisten arvojen ja laitevalmistajien suositusten lisäksi verkonhaltija on omalta osaltaan määrittänyt suurimmat hyväksytyt sulakekoot, jotka saattavat vaihdella verkonhaltijakohtaisesti. Helenin tapauksessa suurimmat sulakekoot ovat 125 A (10 kV:lla) ja 63 A (20 kV:lla). Hankinta- ja toteutusvaiheessa on myös syytä huomioida suunnittelijan suojaus- ja selektiivisyystarkastelussa käyttämä sulake, sillä eri valmistajien sulamiskäyrät saattavat poiketa huomattavasti toisistaan. [5; 30.]

#### Maasulkusuojaus

Mikäli kohteessa on päämuuntamon jälkeistä keskijänniteverkkoa ja alamuuntamoita, tulee pääkatkaisija varustaa maasulkusuojauksella. Toteutustapana suositellaan laukaisevaa suojausta, mutta hälyttävä maasulkusuojaus on Helenin tapauksessa myös hyväksyttävä. Hälyttävässäkin suojauksessa tulee kuitenkin aina ryhtyä välittömiin toimenpiteisiin vian ilmaannuttua ja kytkeä vika irti kahden tunnin kuluessa. Asetteluohjeena maasulkusuojauksen arvo tulee olla pienempi kuin jakeluverkon aiheuttama normaalitilan maasulkuvirta, mutta suurempi kuin liittymän oman keskijänniteverkon vastaanava. Kiinteistön verkon normaalitilan maasulkuvirta voidaan määrittää kaapelivalmis-

tajan tiedoista, kun tiedetään käytetty kaapelityyppi sekä pituus. Maasulkusuojaus voidaan toteuttaa summavirran mittaukseen perustuvilla kaapelivirtamuuntajilla, suojausydämien summakytkenällä tai tuomalla maasulkureleelle nollajännite jännitemittauksen avokolmiokäämistä. [40.]

#### Muuntajan ylikuormitussuojaus

Varokekuormanerotimen tai katkaisijan hoitaessa muuntajan vikasuojauksen suojaaa lämpötilanvalvontarele muuntajaa ylikuormitukselta valvomalla muuntajan käämien lämpötiloja. Lämpötilan mittaus tapahtuu muuntajan käämeihin valmistusvaiheessa sijoitettujen anturien avulla. Lämpötilan noustessa asetellun tason yläpuolelle käynnistää suoja-rele ensimmäiseksi muuntajan varustukseen mahdollisesti kuuluvat lisäpuhaltimet tehostetun jäähdätyksen aikaan saamiseksi. Seuraavan lämpötilatason ylittyessä antaa valvontarele hälytyksen esimerkiksi kiinteistöautomaatioon ja viimeisen tason ylittyessä laukaisee syötettävän pienjännitekeskuksen katkaisijan tai muuntajaa syöttävän kytkinlaitteen. Aseteltavat lämpötilarajat riippuvat muuntajan eristysluokasta ja löytyvät laitevalmistajan ohjeistuksista.

## 6 Käyttöönotto

### 6.1 Käyttöönottotarkastus

Sähkölaitteisto voidaan kytkeä jakeluverkkoon vasta, kun se on sähköurakoitsijan toimesta todettu standardien ja verkonhaltijan ohjeistusten mukaiseksi käyttöönottotarkastuksessa. Kytkentäajankohtana rakennettava sähkölaitteisto voi kokonaisuutena olla suurelta osin kesken, joten käyttöönottotarkastus rajoittuu liittymän kannalta olennaisimpiin asennuksiin, kuten muuntamoon sekä siihen välittömässä yhteydessä oleviin pienjänniteasennuksiin, kuten pienjännitepääkeskukseen ja muuntamon asennuksiin. Jännitteen kytkennästä liittymään ja keskijännitekojeiston pääkytkinlaitteelle asti tulee sopia verkonhaltijan kanssa vähintään neljä viikkoa ennen toivottua ajankohtaa. [30.]

## Aistinvarainen tarkastus

Aistinvaraisen tarkastuksen tavoitteena on varmistua laitteiston vaatimustenmukaisuudesta käymällä asennukset läpi tarkistuslistan kanssa. Tarkastusta tulee suorittaa asennustyön ohella, sillä jälkikäteen tiettyjen asioiden tarkastaminen on mahdotonta, kuten esimerkiksi maadoituselektrodin tai keskijännitepääteen oikeaoppinen asennus. Liitteessä 2 on lueteltu ST-kortin 51.21.07 pohjalta luodussa listassa asioita, jotka muun muassa tulee aistinvaraisessa tarkastuksessa huomioida liittyen kiinteistömuuntamon käyttöönottoon.

Viimeistään aistinvaraisen tarkastuksen yhteydessä todetaan myös muuntamon käytön ja huollon kannalta olennaisten välineiden ja varusteiden olemassaolo. Seuraavassa listassa on esitetty Helenin ohjeistuksen mukaiset varusteet:

- KJ-varasulakkeita 3 kpl (kutakin käytettyä kokoa) sekä vaihtotyökalu
- KJ-jännitteenkoettimet sekä tarvittaessa –ilmaisimet
- työmaadoitusvälineitä (kiinteät / siirrettävät)
  - verkonhaltijan oikosulkukestoisuusvaatimuksen mukaisia
  - jokaiselle syöttökohdalle omansa sekä yksi kiskostolle
  - kiinnitystä varten eristysaineinen sauva
- työskentelysuojalevyjä erottimia varten
- ohjaussauva, eristysaineinen sauva ja muita apuvälineitä jännitteisenä käsiteltäviä laitteita varten
- verkonhaltijan oma hoito-ohje KJ-laitteistoille
- seinälle kiinnitettynä ja helposti nähtävissä
  - maadoituskaavio
  - KJ-kaavio
  - ensiapuohje sähkötapaturmille
- ”Muista työmaadoittaa” –tarrakilpi ensiavun puhelinnumerolla
- varoituskilpisarja
  - ”Älä kytke, työ käynnissä” 4 kpl
  - ”Älä kytke, epäkunnossa” 2 kpl
  - ”Maadoitettu” 2 kpl
  - ”Ei käytössä” 2 kpl
  - ”Verkot tahdistamattomia” 2 kpl
  - ”Jännitteinen” 6 kpl [5; 42]



Keskijänniteliittyjen muuntamoissa tulisi myös olla seuraavanlainen kansio urakoitsijan ja käytönjohtajan koostamana käytön ja kunnossapidon tärkeitä tietoja varten:

- käytönjohtajan yhteystiedot
- huolto ja kunnossapito-ohjelma
- tarkastuspöytäkirjat
- vuosittaiset toimenpidemuistiot
- muuntamon oikosulkuvirta (suunnitelmien sekä normaalin käyttötilanteen mukainen)
- maadoitusresistanssi (valmistumishetkellä sekä tarkistusmittauksissa)
- verkonhaltijan vaatima maadoitusresistanssin arvo
- releasettelut (virta ja aika) [5].

#### Käyttöönottomittaukset

Esimerkkikohteessa keskijännitepuolen käyttöönottomittaukset suoritettiin alihankintana keskijänniteasennusten yhteydessä. Pienjännitepuoleen verraten keskijänniteasennusten tarkastus vaatii huomattavasti kalliimpien mittareiden ja koestuslaitteiden käyttöä sekä erityisosaamista. Muuntamon asennuksille jännitteettömänä tehtäviä mittauksia ovat

- eristysresistanssi
- suojajohtimen jatkuvuus
- maadoitusresistanssi (mikäli ei osana laajaa maadoitusverkkoa).

Eristysresistanssi mitataan jännitteisten johtimien ja maan väliltä sekä erikseen sovittaessa itse jännitteisten osien väliltä. Käytännössä näin tehdään muuntamoiden keskijänniteasennuksissa aina. Eristysresistanssin mittaus tulee suorittaa ennen muuntajan lopullista kytkentää ylä- ja alajännitepuolella, sillä muuten muuntajan kolmioon ja tähteen kytketyt käämit aiheuttavat hylätyn tuloksen vaiheiden välistä mitattuna. Muuntajan eristysresistanssi tulee mitata ensiö- ja toisiopuolilta maihin sekä myös ensiö- ja toisiokäämien väliltä. Mittausjännitteen valinnassa tulee noudattaa valmistajan ohjeistusta, joka saattaa vaihdella muuntajavalmistajasta riippuen. Ennen mittauksia on suositeltavaa tarkistaa käämien pintojen puhtaus, sillä kosteus ja lika saattavat aiheuttaa vaatimustason alle jäävän eristystuloksen [22]. Pienjännitteellä standardissa SFS 6000 on määritetty selkeät eristysvastuksen toteamiseen käytettävät mittausjännitteet sekä vä-

himmäistulokset. Keskijännitepuolella näin ei kuitenkaan ole ja erityisesti kaapelien eristysresistanssin mittauksesta on olemassa ristiriitaisia näkemyksiä. Tasajännitteellä, useimmiten 5 tai 10 kV, tehtävästä eristysmittauksesta on esitetty näkemyksiä, että polymeerieristeisen kaapeliin mittauksen johdosta syntyvät sähkövaraukset saattavat aiheuttaa eristevaurioita ehjään kaapeliin. Tasajännitteellä tehtävä mittaus paljastaa ainoastaan vakavat viat vähäisempien vaurioiden ja vikojen jäädessä piiloon. Muista vaihtoehtoista kaapeleiden osalta käytäntöön parhaiten lieenee soveltuvan osittaispurkausmittaus, jonka avulla voidaan havaita osittaispurkausten myötä mahdollisesti läpilyönteihin johtavat piilevät eristeviat. [41, s.13.]

Suojajohtimen jatkuvuusmittauksessa varmistetaan, että muuntamon maadoitettavat osat ovat yhteydessä maadoitusjärjestelmään. Lisäksi johdinyhteys maadoituselektrodiin tulee varmistaa, vaikkei itse maadoitusresistanssia tarvitsisikaan todeta laajan maadoitusverkon alueella. Lyhyistä johdinpituuksista ja erittäin pienistä resistansseista johtuen liitosten kireys on järkevää tarkastaa myös aistinvaraisesti. Maadoitusresistanssin mittauksesta on kerrottu tarkemmin esimerkiksi ST-kortissa 53.22 Maadoitusresistanssin mittaus.

## 6.2 Toiminnan testaukset

Käyttöönnotossa tehtäviä toimintakokeita ja koestuksia ovat muun muassa:

- suojareleiden toiminta
  - katkaisijat
  - maasulkureleet
  - valokaarisuojat
- muuntajan lämpösuoja-automaatiikan toiminta
- sähköisten / mekaanisten lukitusten toiminta
- katkaisijoiden / erottimien toiminta manuaalisesti sekä sähköisesti ohjattuna
- (muuntamon pienjännitteiset asennukset) [41].

Turvallisuuden kannalta tarvittavat koestukset, kuten suojareleiden toiminta, tulee suorittaa ennen jännitteen kytkentää. Koestaminen vaatii erityisen koestuslaitteen sekä mahdollisesti apujännitteen esimerkiksi työmaasähköstä. Kuten aiemmin todettiin, va-

rokekuormanerotuksen tapauksessa keskijännitekojeistossa ei välttämättä ole koestusta vaativia suoja-areleita. On syytä kuitenkin huomioida pienjännitepääkeskuksessa sijaitsevien katkaisijoiden sekä muuntajan suoja-areleen mahdollinen koestustarve. Esimerkkikohteessa muuntajan valvontarele sisälsi sisäisen testaustilan, jonka avulla tarkoituksenmukainen toiminta tuli testatuksi ilman ulkopuolista testilaitetta. Testaustilan avulla pääkeskuksen katkaisijan laukaisu lämpöreleeseen ohjaamana voitiin myös testata käytännössä jännitteiden ollessa päällä.

Kun aiemmin mainittujen tarkastusten myötä on varmistettu laitteiston turvallisuudesta sekä verkonhaltijan kytkettyä liittymä jännitteiseksi, voidaan urakoitsijan sähkötöiden johtajan vastuulla kytkeä jännite keskijännitekojeiston pääkytkinlaitteelta eteenpäin. Muuntajan kytkeminen jännitteiseksi tulee suorittaa ilman kuormaa, eli syötettävän pääkeskuksen pääkytkin auki asennossa. Turvallisuuden kannalta tulee muuntamotilan ovi jättää auki kytkentätapahtuman ajaksi mahdollisen vian myötä syntyvän valokaari-paineen purkausreitiksi [5]. Kytkennän jälkeen tulee suorittaa seuraavat käyttöönotto-mittauksiin luettavat mittaukset:

- toisiojännitteet (pienjännitepuolen jännitteet)
- kiertosuunnat
- vaiheistus (rinnankäytettyjen muuntajien vaiheiden kohtaaminen).

Toisiojännitteiden mittauksella varmistutaan muuntajan oikeanlaisesta toiminnasta. Mikäli jännitteet eivät täsmää tavoiteltuun, tulee muuntajan väliotto- tai ensiöpuolen jännitealuekytkimen asettelut tarkastaa. Kohteissa, joissa esimerkiksi tiettyä pienjännitepääkeskusta on mahdollista syöttää eri muuntajien takaa, on ensiarvoisen tärkeää mitata, että eri muuntajien toisiovaiheet kohtaavat keskenään jännitteiltään. Eri muuntajien toisiovaiheet voivat olla ristissä, vaikka kiertosuunnat olisivatkin samat [43]. [22.]

### 6.3 Kolmannen osapuolen tarkastukset

Keskijänniteliittymän myötä kiinteistölle tulee suorittaa varmennustarkastus. Valtuutetun kolmannen osapuolen tekemän tarkastuksen myötä varmistutaan pistokokein riittävässä laajuudessa tehtynä kohteen sähköturvallisuudesta ja määräystenmukaisuudesta. Tällöin varmistutaan myös, että sähköurakoitsija on suorittanut omalta osaltaan vaaditun käyttöönottotarkastuksen rakentamalleen laitteistolle. Varmennustarkastuk-

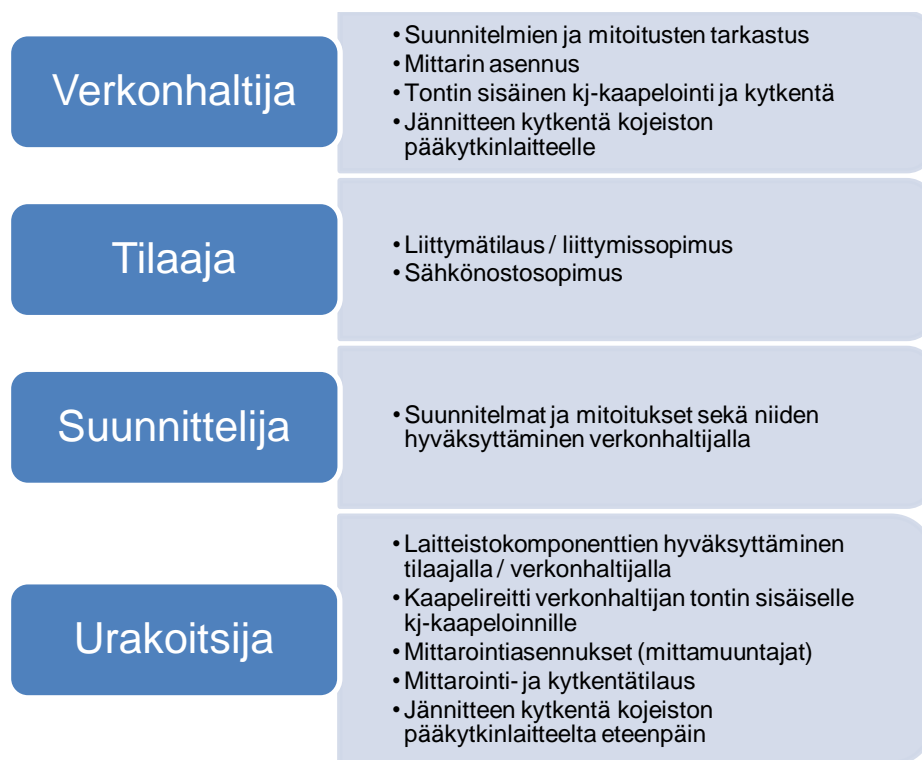
sen tilaaminen kuuluu sähköurakoitsijan vastuulle ja se tulee suorittaa ennen sähkölaiteiston käyttöönottoa tai viimeistään kolmen kuukauden kuluessa siitä. Käyttöönottoajankohtana tarkoitetaan hetkeä, jolloin varsinainen toiminta kohteessa, jota varten sähkölaiteisto on rakennettu, alkaa. Käyttöönottotarkastuksia ja koekäyttöjä sekä testauksia varten jännitteiseksi kytkettyä sähkölaiteistoa ei siis lasketa käyttöönotetuksi. [44; 21.]

Luokan 1 ja 2 sähkölaiteistolle tulee lisäksi asuinrakennuksia lukuun ottamatta tehdä määräaikaistarkastus kymmenen vuoden välein. Tarkastuksen tilaaminen on laiteiston haltijan eli käytännössä kohteen käytönjohtajan vastuulla ja sen voi tehdä varmennustarkastuksen lailla valtuutettu laitos tai tarkastaja. Tarkastuksen tarkoituksena on varmistaa, että laiteiston käyttö on edelleen turvallista sekä tarvittavat kunnossapitotoimenpiteet tehty. Samalla tarkistetaan, että ajan saatossa tehdyistä muutos- ja laajennustöistä on olemassa tarvittavat pöytäkirjat ja laiteiston piirustukset sekä ohjeet ovat ajan tasalla ja käytettävissä. [21.]

## 7 Yhteenveto

Insinööriyössä tehdyn kirjallisuuskatsauksen myötä saatiin luotua yhteenveto keski-jännitemuuntamon olennaisista seikoista. Katsauksen sekä mahdollisesti myös urakoitsijan merkittävimminä tietolähteinä toimivat verkonhaltijan omat ohjeistukset, SFS 6001 "Suurjännitesähköasennukset", ST-kortti 53.11 "Kuluttajamuuntamot" sekä laitevalmistajien asennus- ja käyttöohjeet.

Muuntamoprojektin onnistumisen osalta olennaisin seikka on yhteydenpito ja kommunikatio urakoitsijan, jakeluverkonhaltijan, tilaajan edustajan sekä suunnittelijan välillä. Paikallisen verkonhaltijan kanssa on syytä varmistaa yhdessä projektin kannalta tärkeät aikatauluseikat sekä vaaditut käsittelyajat riittävän ajoissa etukäteen sekä myös päivittää niitä olosuhteiden muuttuessa. Päivämäärien lisäksi keskusteluyhteys verkonhaltijaan syytä pitää auki myös toteutukseen liittyvissä kysymyksissä, kuten esimerkiksi mittamuuntajien hankintajaossa. Sähköliittymän hankinnassa on eri toimijoiden tiedettävä aikataulukysymysten lisäksi keskinäinen työnjako. Kuvassa 20 on esitetty liittymäprosessin työnjaon olennaisimmat kohdat.



Kuva 20. Liittymäprosessin työnjaon olennaisimmat seikat.

Teknisen toteutuksen asioissa suunnitelmista ja yleisohjeista painoarvoltaan suurimpana toimii verkkohaltijan omat ohjeistukset. Tämä tulee huomioida esimerkiksi keskijännitekojeiston valmistuksessa täyden kaukokäyttövalmiuden vaatimuksen osalta, vaikkei kaukokäyttömahdollisuutta muuten toteutettaisikaan. Tekniikan osalta muuntamot ovat kohtalaisen suoraviivaisia, joten aiemmin saatua kokemusta on mahdollista hyödyntää jatkossakin. Toteutuksen ja käyttöönoton kannalta suurimpia muuttujia ovat mm. hankalat tilaratkaisut, verkkohaltijakohtaiset vaatimukset esimerkiksi maadoitusresistanssin suhteen sekä laitteiston koko, jonka myötä kysymykseen saattaa tulla mm. kiinteistön oma kaukokäyttö- ja valvontajärjestelmä.

Omalta osaltani opinnäytetyö auttoi suuresti aihealueen yleiskuvan hahmottamisessa ja perehtymisessä. Jälkikäteen ajateltuna laajemmasta käytännön kokemuksesta olisi voinut ollut paremmin hyötyä tämän työn teossa. Tulevaisuuden kannalta suurin hyöty lienee kuitenkin yleistietämys eri tiedonhakukanavista aiheeseen liittyen.

## Lähteet

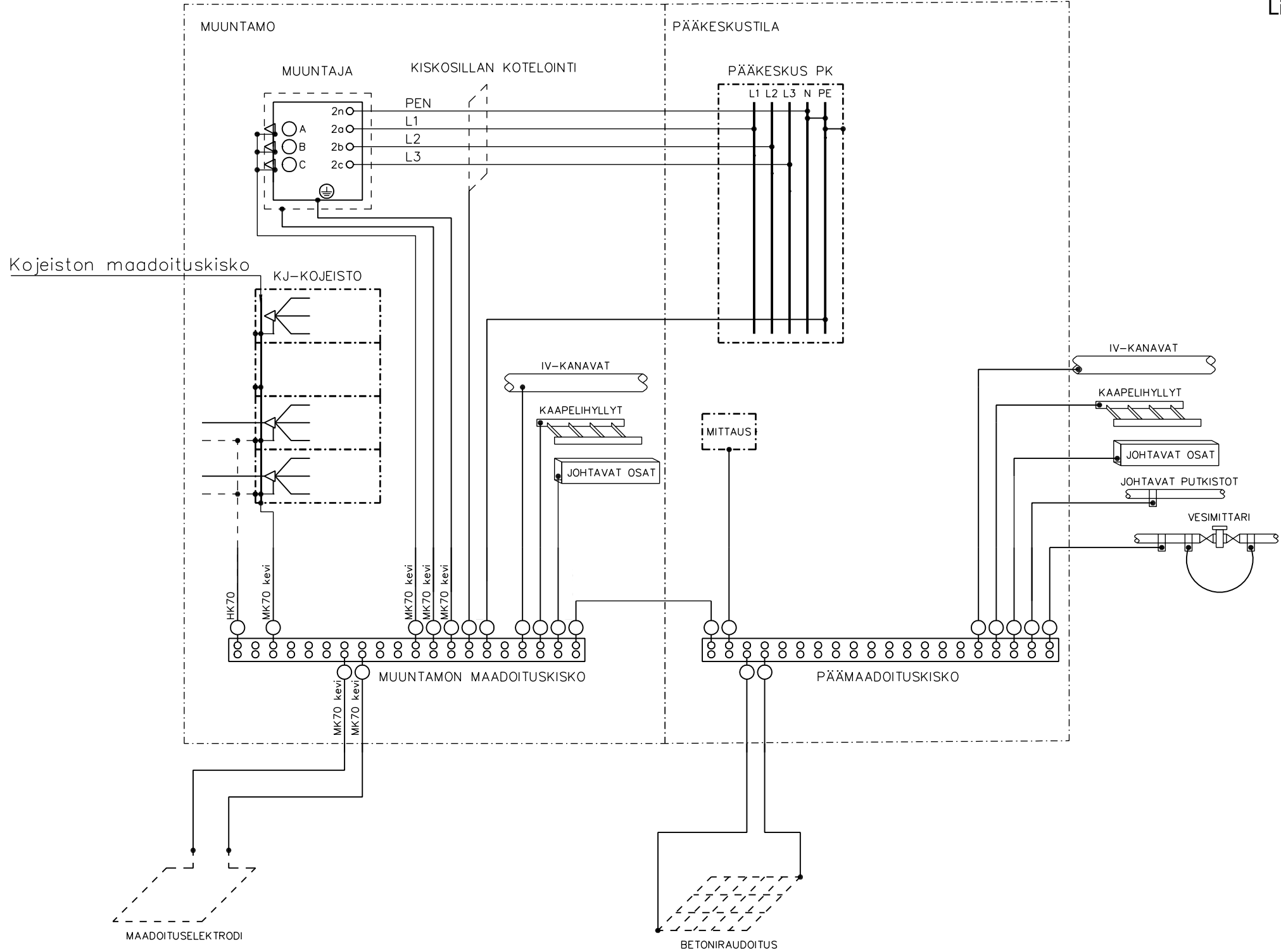
- 1 Korpinen, Leena ym. 1998. Sähkövoimatekniikkaopus: 3 Sähkön siirto- ja jakeluverkot. Verkkodokumentti.  
<[http://leenakorpinen.com/archive/svt\\_opus/3sahkon\\_siirto\\_ja\\_jakeluverkot.pdf](http://leenakorpinen.com/archive/svt_opus/3sahkon_siirto_ja_jakeluverkot.pdf)>. 21.11.2007. Luettu 8.4.2019.
- 2 ST-kortti 41.10 Taloteknisen suunnittelun tehtäväluettelo TATE18. 2017. Verkkodokumentti. Rakennustieto Oy. <<https://severi.sahkoinfo.fi/>>. Luettu 8.4.2019.
- 3 Pysyvät ja tilapäiset liittymät. 2009. Verkkodokumentti. Helen Sähköverkko Oy <<https://www.helensahkoverkko.fi/globalassets/hsv/palvelut/ohjeet/hsv-liittymasahkoliittyma-su20109.pdf>>. Luettu 11.3.2019.
- 4 NPM 530 kompakti vakiomuuntamo. Verkkosivu. Norelco Oy. <<https://norelco.fi/tuotteet/npm-530-kompakti-vakiomuuntamo/>>. Luettu 29.9.2019.
- 5 ST-kortti 53.11 Kuluttajamuuntamot. 2018. Verkkodokumentti. Sähköinfo Oy. <<https://severi.sahkoinfo.fi/>>. Luettu 11.3.2019.
- 6 Vuonna 2011 vahvistetut menetelmät sähkönkäyttöpaikoille. 2011. Verkkodokumentti. Energiavirasto. <<https://energiavirasto.fi/documents/11120570/12768744/Menetelmät-sähkönkäyttöpaikkojen-liittämisestä-perittävien-maksujen-määrittäminen.pdf/710c7ab0-37b4-e422-a5d7-4b19e384fd84/Menetelmät-sähkönkäyttöpaikkojen-liittämisestä-perittävien-maksujen-määrittäminen.pdf.pdf>>. Luettu 2.5.2019.
- 7 Sähköliittymien hinnasto. 2018. Verkkodokumentti. Helen Sähköverkko Oy. <<https://www.helensahkoverkko.fi/globalassets/hinnastot-ja-sopimusehdot/hsv/sahkoliittymat.pdf>>. Luettu 11.3.2019.
- 8 Liittymishinnasto 1.7.2017 alkaen. 2018. Verkkodokumentti. Turku Energia Sähköverkot Oy. <[https://www.turkuenergia.fi/app/uploads/2018/12/Sahkoverkot\\_liittymishinnasto\\_01072019.pdf](https://www.turkuenergia.fi/app/uploads/2018/12/Sahkoverkot_liittymishinnasto_01072019.pdf)>. Luettu 12.3.2019.
- 9 Sähkönkäyttöpaikkojen liittymishinnasto. 2018. Verkkodokumentti. Elenia Oy. <[https://www.elenia.fi/sites/www.elenia.fi/files/Liittymishinnasto%201.7.2018\\_web.pdf](https://www.elenia.fi/sites/www.elenia.fi/files/Liittymishinnasto%201.7.2018_web.pdf)>. Luettu 12.3.2019.
- 10 Sähkön siirtohinnasto. 2018. Verkkodokumentti. Helen Sähköverkko Oy. <<https://www.helensahkoverkko.fi/globalassets/hinnastot-ja-sopimusehdot/hsv/sahkon-siirtohinnasto.pdf>>. Luettu 9.5.2019.

- 11 Verkkopalveluhinnasto. 2018. Verkkodokumentti. Turku Energia Sähköverkot Oy. <<https://www.turkuenergia.fi/app/uploads/2018/07/verkkopalveluhinnasto.pdf>>. Luettu 9.5.2019.
- 12 Verkkopalveluhinnasto tehosiirtotuotteet. 2018. Verkkodokumentti. Elenia Oy. <[https://www.elenia.fi/sites/www.elenia.fi/files/Verkkopalveluhinnasto\\_tehosiirtotuotteet\\_1.8.2018.pdf](https://www.elenia.fi/sites/www.elenia.fi/files/Verkkopalveluhinnasto_tehosiirtotuotteet_1.8.2018.pdf)>. Luettu 9.5.2019.
- 13 Sähkö- ja maakaasuverkon verkkokomponenttien määitykset. 2019. Verkkodokumentti. Energiavirasto. <[https://energiavirasto.fi/documents/11120570/12857808/verkkokomponenttien%20määitykset\\_fi.pdf/db7880ae-1f8e-66e0-5784-9c3e4bfed319](https://energiavirasto.fi/documents/11120570/12857808/verkkokomponenttien%20määitykset_fi.pdf/db7880ae-1f8e-66e0-5784-9c3e4bfed319)>. Luettu 9.5.2019.
- 14 Verkkokomponentit ja yksikkö hinnat 2016-2023. 2015. Verkkodokumentti. Energiavirasto. <<https://energiavirasto.fi/documents/11120570/12766832/Verkkokomponentit-ja-yksikk%C3%B6hinnat-2016-2023.xlsx/7bd40be6-7486-fa81-fbef-3363c71d008e>>. Luettu 1.5.2019.
- 15 Hirvonen, Matti. 2009. Sähköverkon rakentamisyksiköiden laskenta ja kustannusten jakautuminen. Opinnäytetyö. <<https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/9774/Hirvonen.Matti.pdf?sequence=2&isAllowed=y>>. Luettu 9.5.2019.
- 16 Näin hankit sähköliittymän. 2019. Verkkosivu. Elenia Oy. <<https://www.elenia.fi/sahko/liittymat>>. Luettu 1.4.2019.
- 17 Sähköliittymän tilaus. 2019. Sähköinen asiointipalvelu. Helen Sähköverkko Oy. Luettu 1.4.2019.
- 18 Yleiset ohjeet liittymäasiakkaille. 2009. Verkkodokumentti. Helen Sähköverkko Oy. <<https://www.helensahkoverkko.fi/globalassets/hsv/palvelut/ohjeet/hsv-yleista-su10109pdf>>. Luettu 17.3.2019.
- 19 Liittymisehdot LE2014. 2016. Verkkodokumentti. Energiateollisuus ry. <[https://energia.fi/files/1052/Liittymisehdot\\_LE\\_2014\\_20160118.pdf](https://energia.fi/files/1052/Liittymisehdot_LE_2014_20160118.pdf)>. Luettu 17.3.2019.
- 20 Helen Sähköverkko Oy:n liittymissopimus- ja maksut. 2018. Verkkodokumentti. Helen Sähköverkko Oy. <<https://www.helensahkoverkko.fi/globalassets/hsv/palvelut/ohjeet/hsv-yleista-liittymissopimus-su40118.pdf>>. Luettu 17.3.2019.
- 21 Sähköturvallisuuslaki. 2016. 16.12.2016/1135.

- 22 Valuhartsieristeiset jakelumuuntajat (Imefy). 2017. Asennus-, käyttö- ja huolto-ohje. Finn Electric Oy.
- 23 Ylinen, Timo & Kauppila, Jenna. 2017. Sähköasennukset 3 (4.painos). Espoo: Sähköinfo Oy.
- 24 Keskijännitekojeistojen pääkaaviot. 2019. Verkkodokumentti. Helen Sähköverkko Oy. <<https://www.helensahkoverkko.fi/globalassets/hsv/palvelut/ohjeet/hsv-liittyma-muuntamon-paakaavion-toteutusesimerkkeja-su202191.pdf>>. Luettu 26.8.2019.
- 25 Valuhartsieristeiset jakelumuuntajat (TMC). 2013. Verkkodokumentti. Finn Electric Oy. <[http://media.finnelectric.fi/catalogue/content/data\\_fe/TMC/Valuhartsieristeiset\\_ja\\_kelumuuntajat\\_13V1\\_FE.pdf](http://media.finnelectric.fi/catalogue/content/data_fe/TMC/Valuhartsieristeiset_ja_kelumuuntajat_13V1_FE.pdf)>. Luettu 14.5.2019.
- 26 HXCMK-PLUS 20kV 1-johtiminen. 2018. Verkkodokumentti. Prysmian Group Finland Oy. <[https://fi.prysmiangroup.com/sites/default/files/business\\_markets/markets/downloads/datasheets/HXCMK-PLUS%2020kV\\_170418.pdf](https://fi.prysmiangroup.com/sites/default/files/business_markets/markets/downloads/datasheets/HXCMK-PLUS%2020kV_170418.pdf)>. Luettu 24.9.2019.
- 27 Keskijännitekaapeli AHXAMK-W 20 kV. Verkkosivu. Reka Kaapeli Oy. <<https://www.reka.fi/keski-ja-suurjannitekaapelit/keskijannitekaapelit/keskijannitekaapeli-ahxamk-w-20-kv>>. Luettu 24.9.2019.
- 28 ELASCON kosketussuojattu kylmäkutistepistokepääte. 2018. Verkkodokumentti. Prysmian Group Finland Oy. <[https://fi.prysmiangroup.com/sites/default/files/business\\_markets/markets/downloads/datasheets/Prysmian%20Elascon%20datalehti\\_120118.pdf](https://fi.prysmiangroup.com/sites/default/files/business_markets/markets/downloads/datasheets/Prysmian%20Elascon%20datalehti_120118.pdf)>. Luettu 24.9.2019.
- 29 Kuusinen, Matti. 2010. Keskijännitepääte- ja liitostekniikka. Opinnäytetyö. <[https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/24610/Kuusinen\\_Matti.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/24610/Kuusinen_Matti.pdf?sequence=1&isAllowed=y)>. Luettu 24.9.2019.
- 30 Keskijänniteliittyjän muuntamot. 2019. Verkkodokumentti. Helen Sähköverkko Oy. <<https://www.helensahkoverkko.fi/globalassets/hsv/palvelut/ohjeet/hsv-liittyma-keskijanniteliittyjien-muuntamot-su20219.pdf>>. Luettu 1.4.2019.
- 31 SFS-käsikirja 601 Suurjännitesähköasennukset ja ilmajohdot (2. painos). 2015. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS ry.
- 32 Weckman, Henry. 2003. Rakennustarvikkeiden uudet eurooppalaiset paloluokitukset. Verkkodokumentti. VTT Rakennustekniikka. <<https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK030402.pdf>>. Luettu 16.5.2019.



- 33 Tiainen, Esa. ym. 2014. Maadoituskirja (6., uusittu painos). Espoo: Sähköinfo Oy.
- 34 Keskijännitemittaroinnit. 2019. Verkkodokumentti. Helen Sähköverkko Oy.  
<[https://www.helensahkoverkko.fi/globalassets/hsv/palvelut/ohjeet/su30414\\_keskijannitemittaroinnit.pdf](https://www.helensahkoverkko.fi/globalassets/hsv/palvelut/ohjeet/su30414_keskijannitemittaroinnit.pdf)>. Luettu 21.5.2019.
- 35 Taakkalaskuri. 2019. Verkkosivu. Polarmit Oy.  
<<https://www.polarmit.fi/taakkalaskuri/>>. Luettu 21.5.2019.
- 36 Wallin, Pekka. 1991. Sähkömittaustekniikan perusteet. Helsinki: Otatieto Oy.
- 37 Mittamuuntajien yleiset ominaisuudet. 2016. Verkkodokumentti. Eurolaite Oy.  
<[https://www.eurolaite.fi/fileadmin/user\\_upload/eurolaite/pdfs/Esitas/Mittamuuntajien\\_yleiset\\_ominaisuudet.pdf](https://www.eurolaite.fi/fileadmin/user_upload/eurolaite/pdfs/Esitas/Mittamuuntajien_yleiset_ominaisuudet.pdf)>. Luettu 30.5.2019.
- 38 Mittarointitilaus. 2019. Sähköinen asiointipalvelu. Helen Sähköverkko Oy.  
<[https://lisa.helen.fi/\(S\(3fbxhmy2ma0bfzu1zdr0k4go\)\)/Connection/Connection?type=9](https://lisa.helen.fi/(S(3fbxhmy2ma0bfzu1zdr0k4go))/Connection/Connection?type=9)>. Luettu 14.5.2019.
- 39 Mittaroinnin yleisohjeet. 2018. Verkkodokumentti. Helen Sähköverkko Oy.  
<[https://www.helensahkoverkko.fi/globalassets/hsv/palvelut/ohjeet/su30114\\_mittaroinnin-yleisohjeet.pdf](https://www.helensahkoverkko.fi/globalassets/hsv/palvelut/ohjeet/su30114_mittaroinnin-yleisohjeet.pdf)>. Luettu 14.5.2019.
- 40 Pääkatkaisijan releasettelut. 2018. Verkkodokumentti. Helen Sähköverkko Oy.  
<<https://www.helensahkoverkko.fi/globalassets/hsv/palvelut/ohjeet/hsv-liittymapaakatkaisijan-releasettelut-su2020912.pdf>>. Luettu 9.7.2019.
- 41 Ylinen, Timo. 2013. 1-20 kV suurjännitelaitteistojen käyttöönottotarkastusohjeisto (3. uudistettu painos). Espoo: Sähköinfo Oy.
- 42 Helen Sähköverkko Oy:n verkkoon liitettäviä yli 1000 V laitteistoja koskevat hoito-ohjeet. 2009. Verkkodokumentti. Helen Sähköverkko Oy.  
<<https://www.helensahkoverkko.fi/globalassets/hsv/palvelut/ohjeet/hsv-yleista-1000v-hoito-su40409.pdf>>. Luettu 26.8.2019.
- 43 Simolin, Jarno. 2017. Keskijännitemuuntamon käyttöönottotarkastukset ja dokumentointi. Opinnäytetyö.  
<[https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/128072/Simolin\\_Jarno.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/128072/Simolin_Jarno.pdf?sequence=1&isAllowed=y)>. Luettu 9.7.2019.
- 44 Valtioneuvoston asetus sähkölaitteistosta. 2016. 21.12.2016/1434



## Esimerkki aistinvaraisesta tarkastuksesta

- Tila
  - Dokumentit sekä käyttö- ja huolto-ohjeet
  - Mitoitusarvot
  - Hoitotila- ja poistumistieleveys
  - Työ-, käyttö- ja suojavälineet
  - Työmaadoitusvälineet ja -paikat
  - Tilan sekä ulko-oven yleiset tunnukset, varoituskilvet ja merkinnät
  - Läpiviennit
  - Kosketussuojaus
  - (Kaukokäyttö)
  - Puhtaus (pöly ja vieraat esineet muuntajassa/kojeistossa)
- Pienjänniteasennukset
  - Kiskosilta
  - Pääkeskus
  - Muuntamotila (jäähdytys, valaistus, apusähkö)
  - Mittarointiasennukset
- Keskijännitekaapelit
  - Johtotiet, kiinnitys, tuenta muuntajan läheisyydessä
  - Vaipan kunto
  - Mekaaninen suojaus
  - Taivutussäteet
  - Merkinnät
  - Päätteet
- Muuntaja
  - Etäisyysvaatimukset: kaapelit, rakenteet, muut osat
  - Kotelointi, suojaseinä
  - Liitännät ja kiristys
  - Ohjaus-, suojaus ja jäähdytyslaitteasennukset
  - Väliottokytkimen / ensiöjännitealueen oikea asetus
- Maadoitukset
  - Osa laajaa maadoitusverkkoa?

- Liitännät
- Poikkipinnat
- Elektrodi
- Kojeisto
  - Liitännät ja kiristys
  - SF<sub>6</sub>-kennot
  - Katkaisijat / varokekuormanerotimet sekä asettelut / sulakkeet
  - Lukitukset
  - Työskentelysuojalevyt
  - Merkinnot ja tunnukset
    - (a) Verkonhaltijan syöttötiedot liittymiserotimissa
    - (b) Mittaus
    - (c) Kytkinlaitteet
    - (d) Hallintaraja [41]