

# SÄHKÖASEMARAKENTAMINEN

Henrik Tumelius

Opinnäytetyö  
Tekniikka ja liikenne  
Sähkötekniikan koulutusohjelma  
Insinööri (AMK)

2016

Tekniikka ja liikenne  
Sähkötekniikan koulutusohjelma  
Insinööri (AMK)

---

<b>Tekijä</b>	Henrik Tumelius	Vuosi	2016
<b>Ohjaajat</b>	DI Jaakko Etto DI Pertti Menonen		
<b>Toimeksiantaja</b>	Empower PN Oy		
<b>Työn nimi</b>	Sähköasemarakentaminen		
<b>Sivu- ja liitemäärä</b>	72 + 1		

---

Tämän opinnäytetyön aiheena on sähköasemarakentaminen. Työn tavoitteena oli kuvata sähköasemarakentamisen vaihe vaiheelta aina projektin aloittamisesta sähköaseman käyttöönottoon. Työn aihe rajattiin kantaverkkorakentamiseen ja maanrakentaminen aloitettiin tasosta -1m. Opinnäytetyön toimeksiantaja on Empower PN Oy:n sähköasemayksikkö.

Sähköasemarakentamiseen perehdyttiin kolmessa eri vaiheessa: perehtyminen sähköasemien toteutuksiin ja rakenteisiin, sähköasematyömaihin tutustuminen ja eri työtehtävien tekeminen rakennustyömailla sekä viimeisenä aineiston tutkiminen ja tämän opinnäytetyön kirjoittaminen. Työmaatoimintojen nykytilanteen kartoittaminen tehdään tämän opinnäytetyön valmistumisen jälkeen ja kartoituksen perusteella mietitään kehitystoimintoja työmaatoimintoihin. Opinnäytetyö aloitettiin marraskuussa 2015 ja se valmistui maaliskuussa 2016. Työmaatoimintojen kartoittaminen jatkuu kesään 2016 asti.

Työn teoriaosuudessa kerrotaan kantaverkon sähköaseman rakenteista ja niiden komponenteista. Käytännönsuudessa kerrotaan yleisesti, kuinka sähköasemaprojektit toteutetaan aina suunnitteluvaiheista käyttöönottovaiheeseen. Tutkimusmateriaaleina käytettiin sähköasemarakentamiseen liittyviä kirjallisia materiaaleja, yrityksen sisäisiä projektimateriaaleja ja työmailla tehtyjä työtehtäviä, joista kertyi empiiristä tietämystä. Lopuksi pohditaan työn onnistumista ja työstä saatavia hyötyjä.

Työn lopputuloksena saatiin yleinen kuvaus sähköasemarakentamisesta ja työmaan tärkeimmistä toiminnoista sekä yrityksen sisäiseen käyttöön jäävä työmaatoimintojen kartoitus. Työmaakartoitus sisältää kuvauksen projektissa työskentelevistä henkilöistä ja heidän keskeisimmistä työtehtävistään. Työmaakartoitus jää yrityksen sisäiseen käyttöön.

Asiasanat

sähköasema, työmaa, projekti

Lapland University of Applied Sciences,  
Industry and Natural Resources  
Electrical Engineering

---

<b>Author</b>	Henrik Tumelius	Year	2016
<b>Supervisor</b>	DI Jaakko Etto, DI Pertti Menonen		
<b>Commissioned by</b>	Empower PN Oy		
<b>Subject of thesis</b>	Substation Construction		
<b>Number of pages</b>	72 + 1		

---

The subject of this thesis is the construction of a substation. The aim of this thesis was to describe the construction of the substation step by step from the beginning of the project to the commissioning phase. The subject was limited to electricity transmission grid and the excavation start level was -1 m. The subscriber of this thesis is Empower PN Oy substation unit.

Substation construction familiarization was divided into three phases. These were familiarization of substation implementations and structures, getting to know substation construction sites and how to do different tasks on these sites as well as the final phase of examination of the gathered material and for that writing this document. Mapping of site operations is carried out after this thesis has been completed. The purpose of this mapping is figure how to improve site operations. This thesis was started in November 2015 and it was completed March 2016. Mapping of site operations will continue until the summer of 2016.

The theory section discusses the main grid substation structures and their components. The practical part explains in general terms how substation projects are executed from the design phase to the commissioning phase. Research material in writing were substation construction literature, company's internal project materials and work assignments made at sites which generated the empirical knowledge. Final part of the document speculates the success of this thesis and the benefits derived from the work.

Final result of this thesis was a general description of construction of the substation and the most important functions of the construction site, as well as mapping of the site operations which remains only for company's internal use. Mapping of site operations contains a description of the people working in the project and their primary tasks.

Key words                      substation, worksite, project

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	8
2	SÄHKÖASEMA JA SEN RAKENNE .....	9
2.1	Sähköasemat .....	9
2.2	Sähköaseman rakenteelliset osat .....	9
2.3	Toiminnalliset osat .....	11
2.4	Sähköasematyypit .....	11
2.4.1	Ilmaeristeinen kytkinlaitos (AIS) .....	12
2.4.2	Kaasueristeinen kytkinlaitos (GIS).....	13
2.5	Layout .....	13
3	KOMPONENTIT .....	18
3.1	Suurjännitevoimajohto .....	18
3.2	Kokoojakiskot.....	22
3.3	Päämuuntaja.....	25
3.4	Katkaisijat .....	26
3.5	Erottimet .....	29
3.6	Mittamuuntajat .....	31
3.6.1	Virtamuuntaja .....	32
3.6.2	Jännitemuuntaja.....	34
3.7	Kompensointilaitteisto .....	38
3.8	Toisiojärjestelmä .....	40
3.8.1	Toisiojärjestelmän kaapelointi .....	40
3.8.2	Suojareleet .....	41
3.8.3	Apusähköjärjestelmät .....	44
3.8.4	Automaatio- ja tietoliikennelaitteistot .....	46
4	SÄHKÖASEMARAKENTAMINEN .....	48
4.1	Sähköasemaprojektit .....	48
4.1.1	Mänttä .....	48
4.1.2	Petäjävesi.....	49
4.2	Päätoteuttaja.....	50
4.3	Toteutusorganisaatio .....	51
4.4	Esi- ja pääsuunnittelu.....	51
4.5	Hankinta ja alihankinta.....	52

4.6	Rakennustyöt.....	53
4.6.1	Maanrakentaminen.....	53
4.6.2	Kaapelireitit .....	55
4.7	Asennustyöt .....	56
4.7.1	Perustustyöt ja maadoitusverkko.....	56
4.7.2	Kaapelointi .....	59
4.7.3	Rele- ja jakokaapit.....	62
4.7.4	Kojetelineet ja kojeasennukset.....	63
4.8	FAT/SAT Testit .....	68
5	POHDINTA.....	70
	LÄHTEET.....	71
	LIITTEET .....	73

## ALKUSANAT

Haluan kiittää työnantajaani, Empower PN Oy, erityisesti projektipäällikköä Pertti Menosta tästä opinnäytetyöaiheesta ja mahdollisuudesta päästä tutustumaan käytännössä sähköasemarakentamiseen.

Kempeleessä 24.3.2016

Henrik Tumelius

## KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

AIS	Air insulated switchgear - Ilmaeristeinen kytkinlaitos
Erotin	Disconnecter – Kuormattomien verkon osien erottamiseen tarkoitettu kytkinlaite
FAT	Factory acceptance test - Tehdastestaus
GIS	Gas insulated switchgear - Kaasueristeinen kytkinlaitos
Katkaisija	Circuit breaker - Kytkinlaite, jolla katkaistaan virtapiirejä.
KJ-verkko	Keskijänniteverkko 10 kV - 45 kV
Pantografierotin	Vertikaalierotin
Portaali	Kantava rakenne, jonka päälle asennetaan pylväät ja niitä yhdistävät orret
Pääjännite	Vaiheiden välinen jännite
Vaihejännite	Vaiheen ja maan (tähtipisteen) välinen jännite
SAT	Site acceptance test – Työmaatestaus
SF6	Suojakaasu

## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyön aiheena on sähköasemarakentaminen ja siihen liittyvät rakennusvaiheet. Työ tehdään Fingrid Oy:n sähköasematyömailla, joissa Empower toimii projektien pääurakoitsijana.

Työn tavoitteena on kuvata sähköasemarakentamisen eri rakennusvaiheita aina työmaan perustamisesta aseman käyttöönottoon. Kokonaiskuvan hahmottamisen myötä toimeksiantajalle tehdään työmaatoimintojen nykytilanteen kartoitus, jonka tavoitteena on kuvata projektiin kuuluvat henkilöt ja heidän työtehtävänsä projektin eri vaiheissa hankinnan kannalta. Työmaakartoitus tulee opinnäytetyön liitteeksi, ja sen yksityiskohtainen sisältö jää yrityksen sisäiseen käyttöön. Työssä keskitytään pelkästään kantaverkon sähköasemiin ja maanrakennus rajataan tasoon -1m.

Teoriaosuudessa esitellään kantaverkon sähköasemien rakenteet ja komponentit. Materiaalina käytetään oppimateriaaleja, alan kirjallisuutta, teknisiä dokumentaatioita, internetjulkaisuja sekä työmaalla tehtyjä haastatteluja. Työn kannalta oleellinen osio tulee olemaan luvussa neljä esitetty sähköasemarakentaminen ja siihen liittyvät rakennusvaiheet, jotka on esitetty päätoteuttajan näkökulmasta. Tutkimusmateriaaleina käytetään sähköasemarakentamiseen liittyviä pohjamateriaaleja, yrityksen sisäisiä projektimateriaaleja ja sähköasematyömaalla tehtyjä eri työvaiheiden työtehtäviä. Opinnäytetyön valmistuttua kartoitetaan työmaatoimintojen nykytilanne toimeksiantajalle.



## 2 SÄHKÖASEMA JA SEN RAKENNE

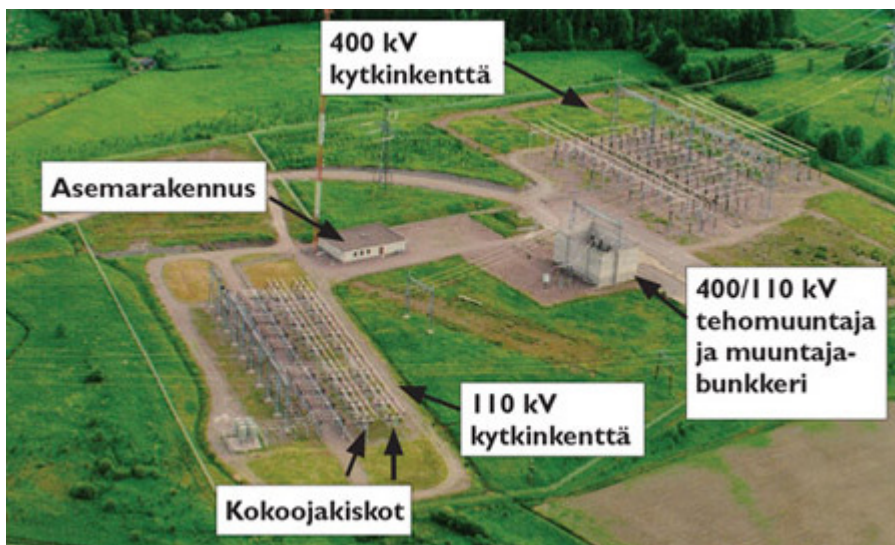
### 2.1 Sähköasemat

Sähköasemat ovat sähköverkkojen solmupaikkoja, joissa sähköä muutetaan, syötetään ja kytketään eri sähköjakeluverkkoihin. Sähköasemien käyttötarkoitus voidaan määrittellä niiden sisältämien laitteistojen mukaan. Sähköasemia voivat olla esimerkiksi:

- muunto- ja kytkinasemat (keskusasemat)
- solmupisteasemat (teollisuuden ja kaupunkien suuret muuntoasemat)
- syöttöasemat (pienet muuntoasemat). (Fingrid 2015)

### 2.2 Sähköaseman rakenteelliset osat

Kuvan 1 ilmakuvassa on esitetty ilmaeristeisen muuntoaseman rakenteelliset osat ja niiden sijoittuminen sähköasema-alueella. Sähköasemarakenteiden komponentit käsitellään luvussa 3.



Kuva 1. Ilmaeristeinen sähköasema 400/110 kV muunnolla (Fingrid 2015)

Rakenteellisesti sähköasema koostuu erilaisista fyysisistä laitteista ja rakenteista, joilla jokaisella on oma positio asema-alueella. Yleensä sähköasema sisältää vähintään neljä osaa: kytkinkenttä, muuntaja, valvomorakennus ja voimajohto. Tarkemmin sähköasema voidaan lajitella neljään rakenteelliseen ryhmään (kantaverkko):

- päälaitteistot ja -laitteet
  - o kytkinlaitoskojeistot (400/220/110 kV)
  - o teho- ja päämuuntamot (400/220/110/20 kV)
  - o muut suurjännitelaitteet (ylijännitesuojat, tähtipiste-erottimet)
  - o kompensointilaitokset
  - o kiskostot (pääkiskot, apukiskot)
  - o kytkinkentät sekä niiden laitteistot (katkaisijat, erottimet, virta- ja jännitemuuntajat, eristimet jne.).
- apulaitteistot ja -laitteet
  - o rele- ja jakokaapit
  - o ohjauspisteet tai -taulut
  - o omakäyttölaitteisto
  - o automaatio
  - o viestintälaitteisto (RTU- ja HMI -järjestelmät)
- muut laitteistot ja -laitteet
  - o palo- ja rikosilmoituslaitteistot
  - o kulunvalvonta
  - o ilmastointilaitteistot
  - o jännitteen koetin sekä työmaadoituskaapelit
  - o muut suojalaitteet (jännitetyösuojat jne)
- kiinteät rakenteet
  - o aidat, tiet sekä niiden rakenteet

- kaapelikanavat/johtotiet
- rakennukset
- muuntajabunkkerit- ja suojat
- mastot (ukkosmastot)
- perustukset
- pylvääät sekä orret
- maadoitusruudukko
- teräsrakenteet. (Seppälä 2001-2003, 8-9)

### 2.3 Toiminnalliset osat

Sähköasema voidaan kuvata myös toimintojensa perusteella. Toiminnallisessa mielessä sähköasema koostuu useasta osasta joita ovat:

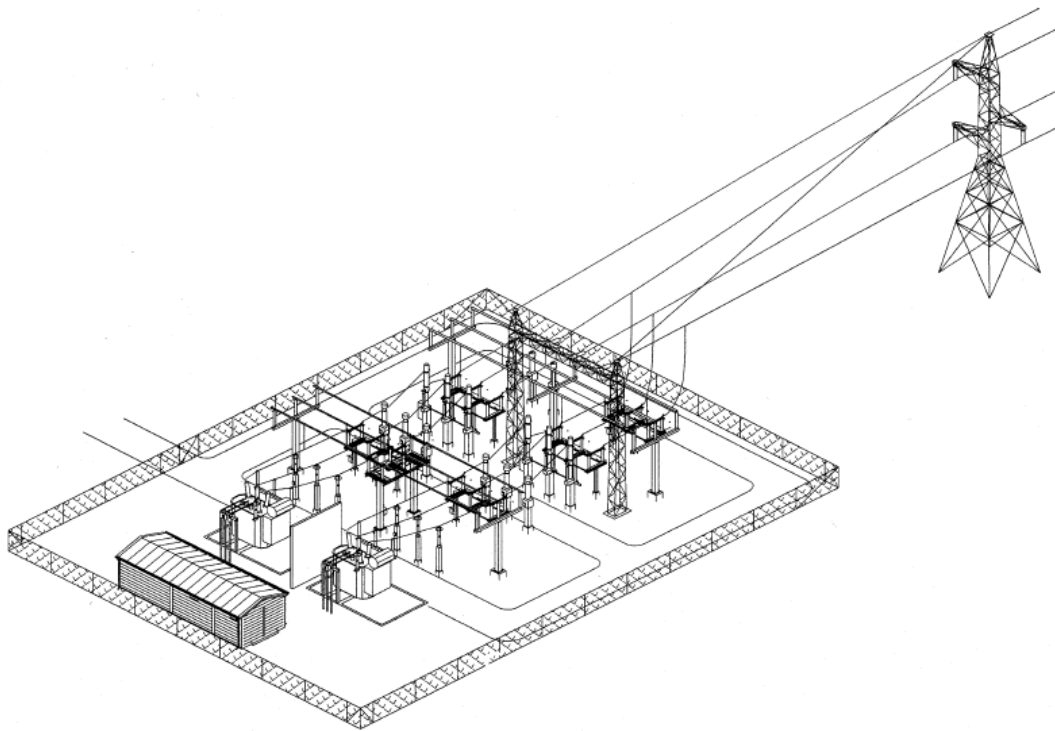
- pääjärjestelmät
  - 400/220/110/20 kV kytkinlaitokset
- apujärjestelmät
  - suojaus-, ohjaus-, hälytys-, viestintä- sekä apusähköjärjestelmät
- muut järjestelmät
  - rikos- ja paloilmoitusjärjestelmät
  - ilmastointijärjestelmät. (Seppälä 2001-2003, 11-12)

### 2.4 Sähköasematyypit

Sähköasemat on jaoteltu eristemateriaalin mukaan kahteen eri ryhmään – AIS - ilmaeristeisiin ja GIS SF6 -kaasueristeisiin laitoksiin. Suomessa sähköasemat ovat pääosin ilmaeristeisiä (AIS) ulkokytkinlaitostyyppisiä, mutta myös kaasueristeiset (GIS) kytkinlaitokset ovat yleistyneet. (ABB 2000-07, Luku 13, 1-6)

#### 2.4.1 Ilmaeristeinen kytkinlaitos (AIS)

Ilmaeristeisessä kytkinlaitoksessa jännitteiset osat on eristetty toisistaan ilmalla, jolloin sijoittelussa on otettava huomioon käytössä oleva tila, johtojen tulosuunnat, tulevat muutokset (laajennusvara) ja taloudellisuus. Sijoitteluun vaikuttavat tontin sijainti, tulevat voimajohdot ja kytkinlaitoksessa käytettävät komponentit. Sijoituspaikkana voi olla halli tai ulkokenttä. Ilmaeristeisiä sähköasemia ei yleensä rakenneta tiheästi asutuille alueille eikä vaativiin keliolosuhteisiin, koska kytkinlaitos tarvitsee tilaa ja kytkinlaitoksen kojeet ovat alttiita sääolosuhteille. (ABB 2000-07, Luku 13, 11)



Kuvio 1. Kahden muuntajan ulkokytkinlaitos. (ABB 2000-07, Luku 13, 11)

Kuviossa 1 on esitettyä kompakti kahden muuntajan kytkinlaitos, jossa kaksi identtistä muuntajaa syöttää verkkoa johdon päästä. Muuntajia ohjataan omilla kytkinlaitteistoilla, joten katkaisijahuoltojen aikana asemaa ei tarvitse tehdä jännitteettömäksi. (ABB 2000-07, Luku 13, 1)

## 2.4.2 Kaasueristeinen kytkinlaitos (GIS)

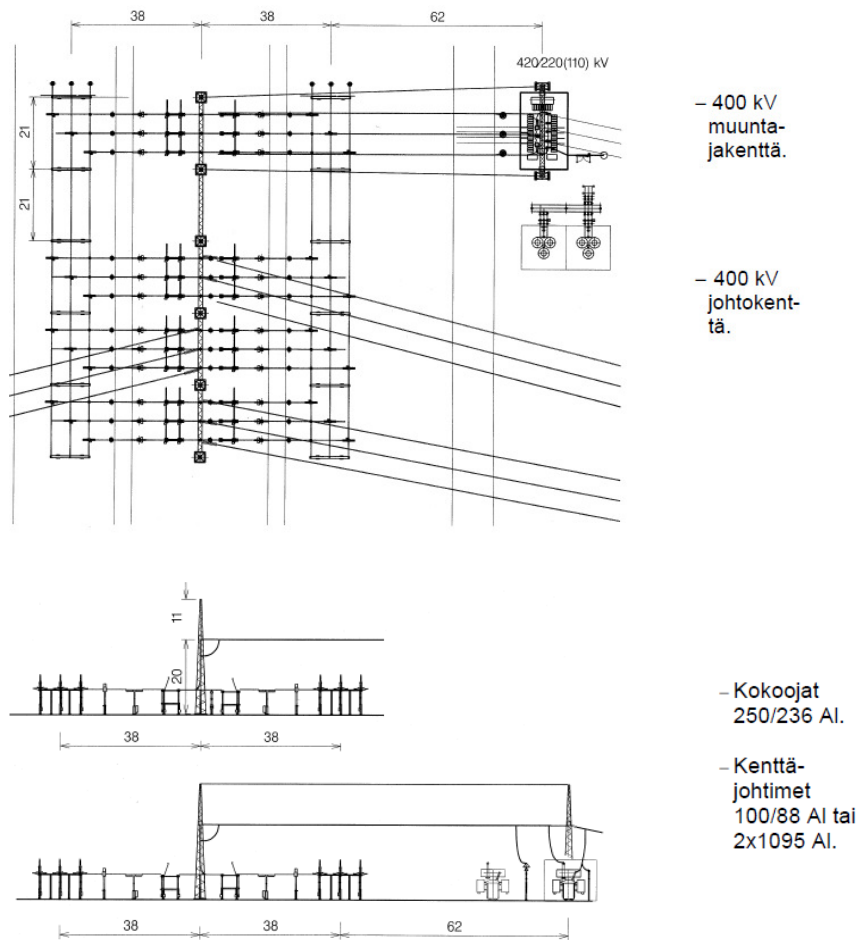
Kaasueristeisessä kojeistossa SF<sub>6</sub>-kaasu toimii eristysaineena ja myös katkaisijoiden valokaarien sammutusaineena. Kaasukojeiston etuja ilmaeristeiseen ovat huomattavasti pienempi tilantarve kuin ilmaeristeisessä, pitkä käyttöikä, vähäinen huollon tarve, kevyt ja eristetty rakenne sekä lyhyt asennusaika/käyttöönottoaika sähköasemalla. Kaasueristeisiä kojeistoja valmistetaan sekä yksi- että kolmivaiheisina. Taulukossa 1 on esitetty yksi- ja kolmivaiheisia ABB GIS-kojeistorakenteita sekä niiden sähköisiä arvoja. Kojestot on jaettu neljään rakenneluokkaan niiden sähköisten ominaisuuksiensa mukaan. (ABB 2000-07, Luku 13, 5-6)

Taulukko 1. Kaasueristeiset kojeistot teknisine arvoineen. (ABB 2000-07, Luku 13, 5-6)

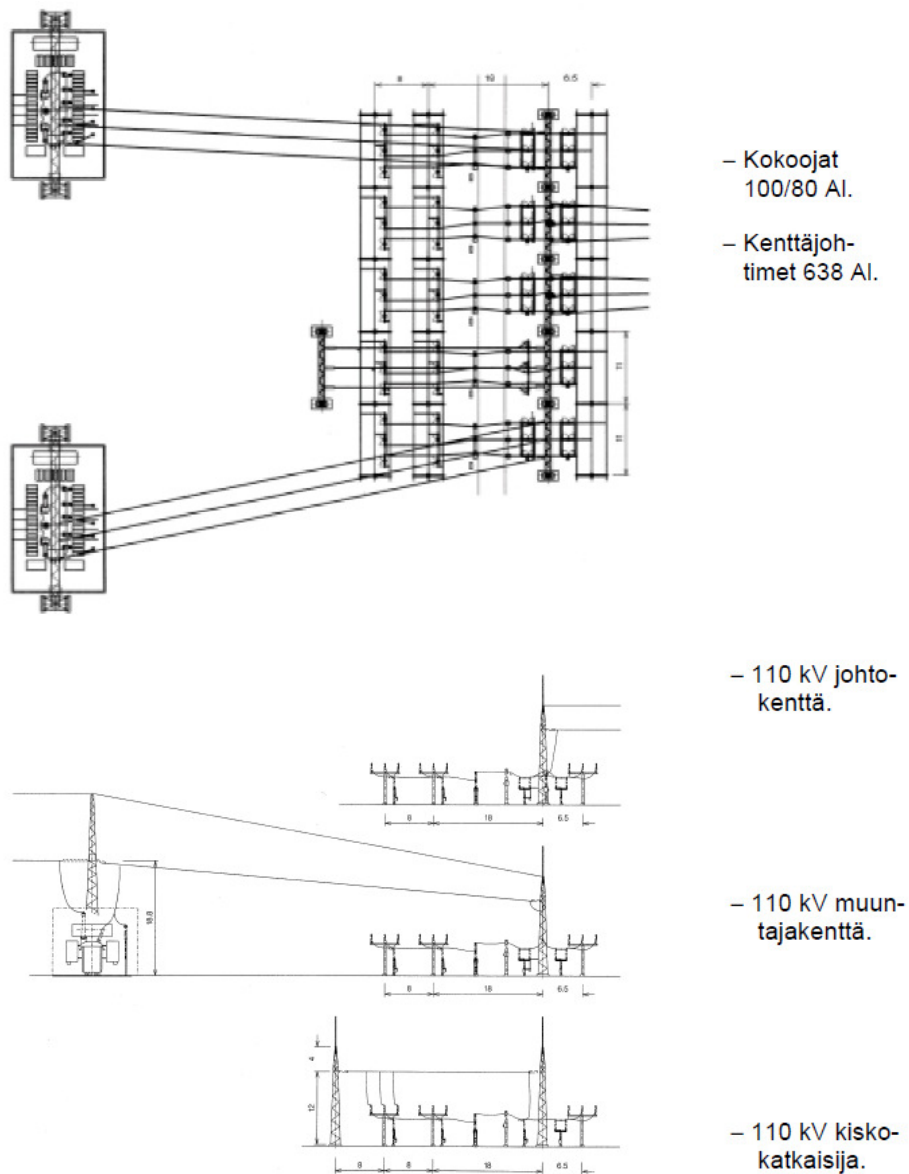
GIS tyyppi		ELK 0	ELK 1	ELK 3	ELK 4
Nimellisjännite	kV	72,5-170	300	550	800
Nimellistaajuus	Hz	50	50	50	50
Nimellisvirta	A	1250-3150	4000	4000	5000
Nimellis- katkaisukyky	kA	40	63	63	63
Kentän leveys	mm	1200	1680	3200	4000
Kentän paino	kg	4000	8000	14000	30000
Kotelointi		kolmivaihe	yksivaihe	yksivaihe	yksivaihe

## 2.5 Layout

Ilmaeristeisen sähköaseman layout voi olla esimerkiksi kuviossa 2 näkyvä kaksoiskatkaisijajärjestelmällä toteutettu asemalayout, jossa on myös kaksi pääkiskoa. Kaksoiskatkaisijajärjestelmä sisältää nimensä mukaan kaksinkertaisen määrän katkaisijoita lähtöä kohden, jolloin katkaisijahuollot voidaan tehdä ilman muita kytkentöjä verkossa. Kaksoiskatkaisijoiden lisäksi layoutissa on kahdet pääkiskot, joilla lisätään aseman ja sen lähtöjen käyttövarmuutta. Kytkinlaitteiden määrästä johtuen tämä asematyyppi on kallis ja layoutiltaan tilaa vaativa. (Aura & Tonteri 1993, 334-335)

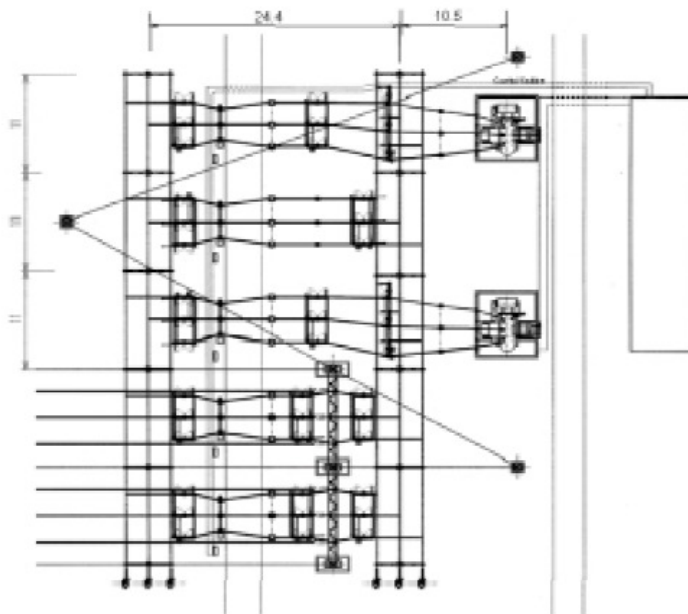


Kuvio 2. 400 kV kaksoiskatkaisijajärjestelmä (duplex), duplex-kiskosto, putkiko-  
koojat sekä pantografi- ja vertikaalierottimet. (ABB 2000-07, Luku 13, 13)



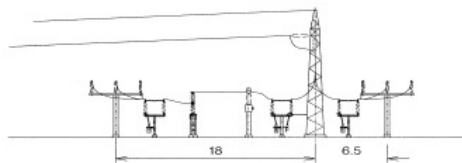
Kuvio 3. 110 kV kaksikisko-apukiskojärjestelmä, putkistot ja kiertoerottimet. (ABB 2000-07, Luku 13, 14)

Kuvion 3 layoutissa on apukiskojärjestelmän lisäksi kaksi pääkiskostoa. Usean kiskoston myötä yksi pääkiskoista ja apukisko voidaan tehdä jännitteettömäksi, syöttöjä ja kuormituksia voidaan jakaa halutusti ja katkaisijoita voidaan huoltaa käytön aikana ilman käyttökeskeytyksiä. Kuten kuvion 2 layoutissa, tämäkin asemaratkaisu on kallis toteuttaa, mutta aseman vaatima tila on huomattavasti pienempi kuin duplex -ratkaisussa. (ABB 2000-07, Luku 13, 3)

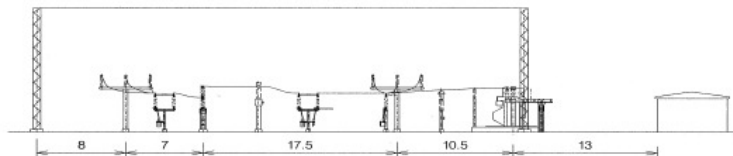


- Kokoojat 100/88 Al.
- Kenttäjohtimet 638 Al.

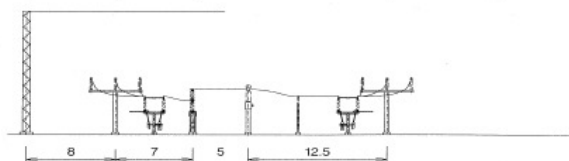
-110 kV johtokenttä.



-110 kV muuntajakenttä.



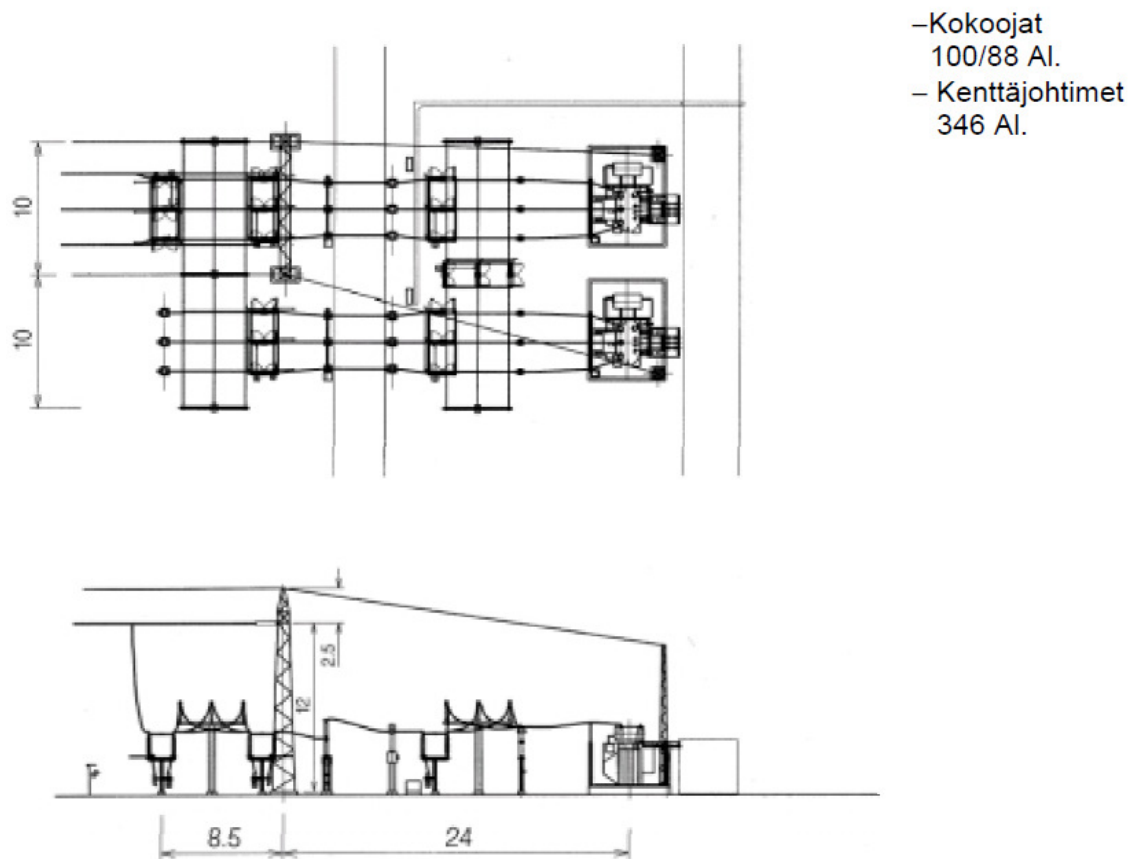
-110 kV kiskokatkaisija



Kuvio 4. Asemalayout ja kolmen kentän poikkileikkauskuvat, joissa 110 kV kiskoapukiskojärjestelmä, putkistot ja kiertoerottimet. (ABB 2000-07, Luku 13, 15)

Kuviossa 4 on yleisesti käytössä oleva asemaratkaisu, joka on helposti laajennettavissa. Tässäkin ratkaisussa katkaisijahuolto voidaan tehdä ilman käyttökeskeytystä ohittamalla pääkatkaisija apukiskon katkaisijaa käyttäen. Aseman lähtöjä voidaan kytkeä saman katkaisijan perään ja tarvittaessa aseman lähdöt voidaan yhdistää muun kojeiston ohi. (Aura & Tonteri 1993, 333)





Kuvio 5. Kahden muuntajan rinnankytkentä. (ABB 2000-07, Luku 13, 16)

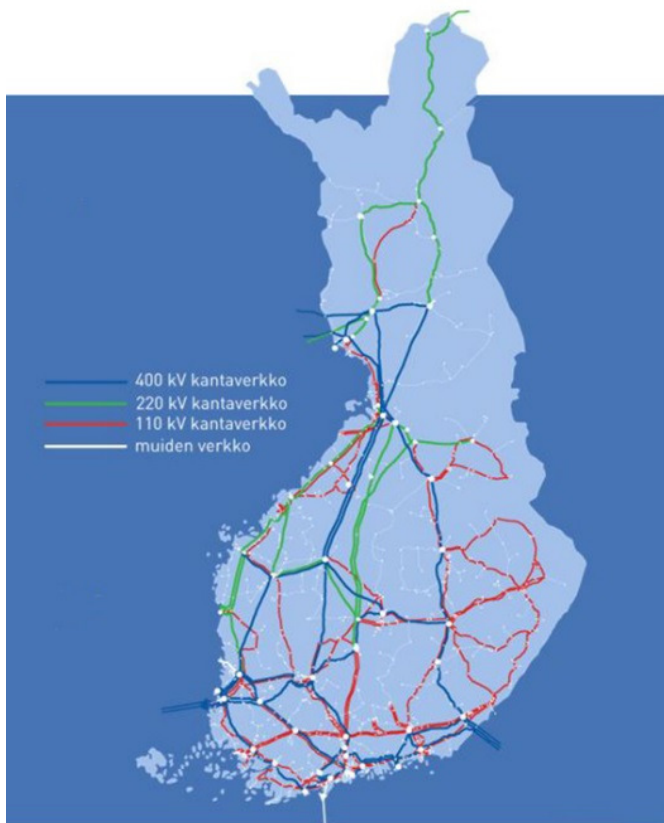
Kuvion 5 layout on kooltaan pienin ja toteutukseltaan halvin asemaratkaisu. Molemmille muuntajille on omat katkaisijansa, joten katkaisija- ja muuntajahuollot voidaan tehdä ilman käyttökeskeytystä. (ABB 2000-07, Luku 13, 2)

### 3 KOMPONENTIT

#### 3.1 Suurjännitevoimajohto

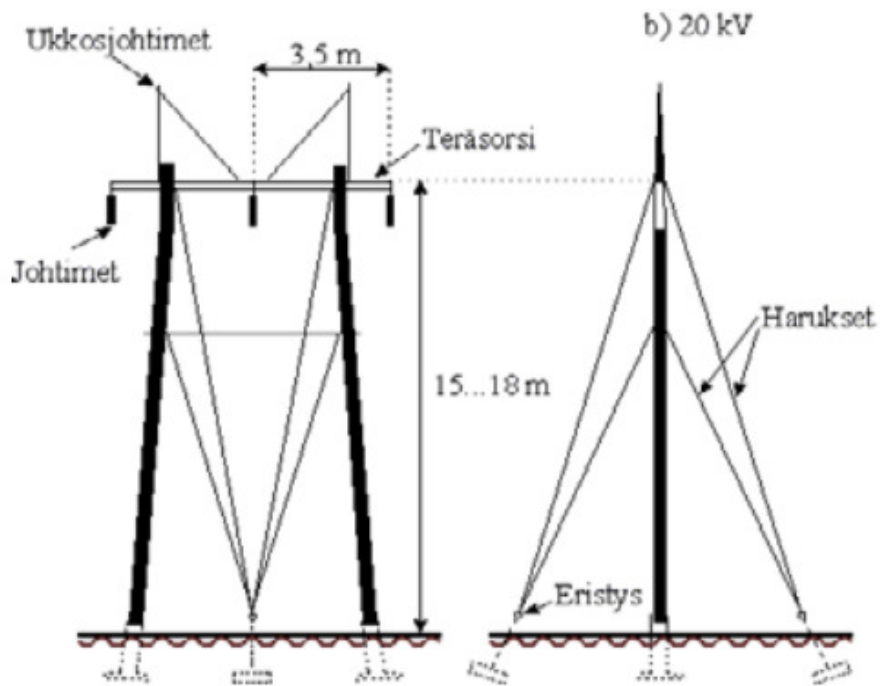
Kantaverkkoa ohjataan 116 sähköaseman voimin. Sähköasemia yhdistävää johdotietä Fingridillä on noin 14 400 km (kuvio 8). Kantaverkossa jännitetasoja on kolme:

- 400 kV (4 600 km)
- 220 kV (2 200 km)
- 110 kV (7 600 km). (Fingrid 2015)



Kuvio 6. Suomen kantaverkko. (Fingrid 2015)

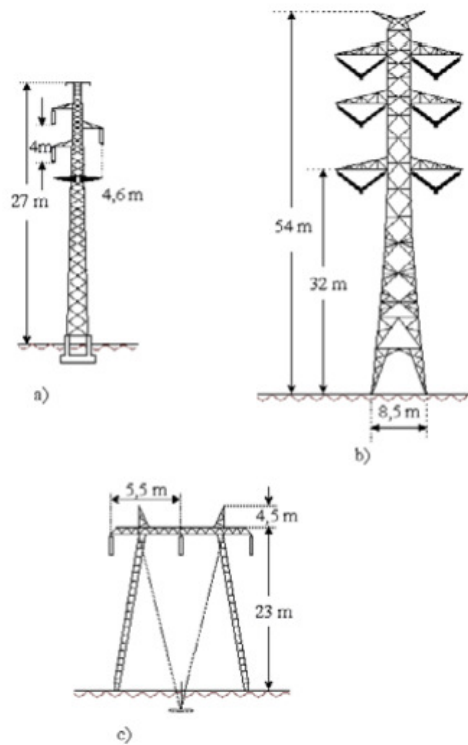
Suurin osa kantaverkosta on rakennettu päällystämättömällä avojohdolla, jossa eristysaineena käytetään ilmaa. Johdinmateriaalina käytetään alumiinia, alumiiniseoksia ja terästä. Siirtotienä käytetään harustettuja pylviä, jotka on suojattu ukkosjohtimilla (kuviot 7 ja 8). (ABB 2000-07, Luku 13, 11)



Kuvio 7. 110 kV avojohtopuupylväs (Korpinen 2008, kappale 3.1.1)

Puupylväitä käytetään yleisesti 220 kV jännitetasoon asti. Kuviossa 7 on esitetty harustettu kaksijalkainen 110 kV jännitteen puupylväs, jossa johdon tai johdinparin eristimet on kiinnitetty suoraan teräsorreen. Teräsorren yläpuolella on vähintään 2 ukkosjohdinta. 110 kV johtimen pystysuora etäisyys maasta on oltava vähintään 6 m tai tiestä vähintään 7 m ja 220 kV vastaavat etäisyydet vähintään 6,5 m ja 7,5 m. Harustettuja pylväitä käytetään tavallisesti taajamien ulkopuolilla. (Tukes 2015, 17)

Kuviossa 8 on esitetty metallipylväitä, joista a) ja b) ovat vapaasti seisovia, maahan valettuja yksijalkaisia 110 kV pylväitä ja c) harustettu 400 kV metallipylväs. 400 kV jännitteellä johtojen etäisyys maasta on vähintään 8 m. (Tukes 2015, 17)

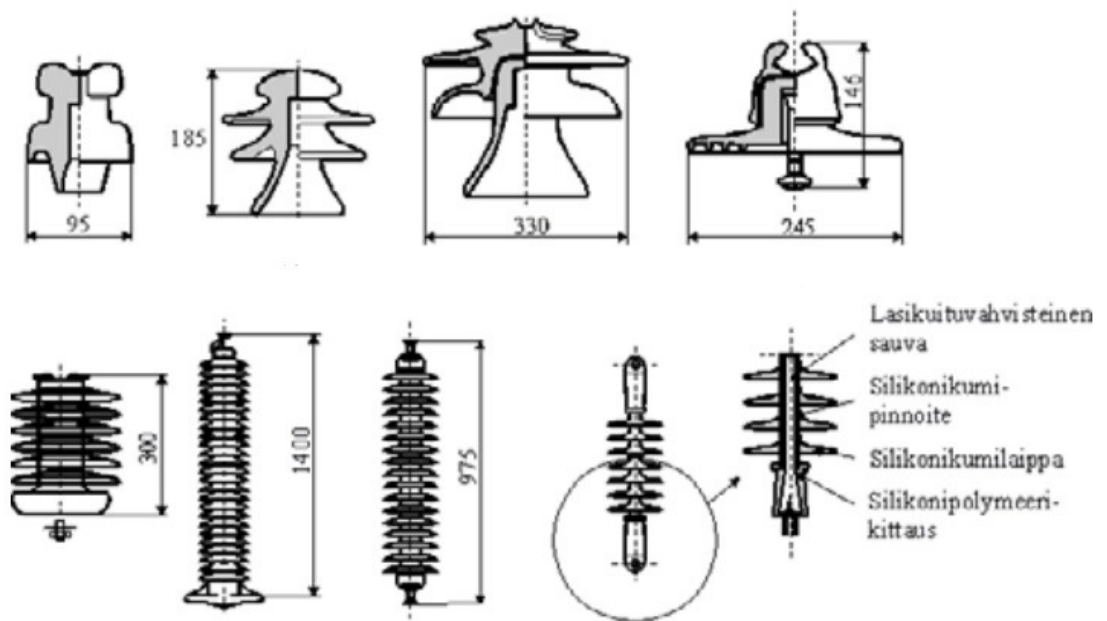


Kuvio 8. Metallipylväät a) 110 kV, b) ja c) 400 kV pylväät. (Korpinen 2008, kap- pale 3.1.1)

110 kV - 400 kV jännitetasot tunnistaa helposti pylväässä käytettyjen eristimen pituudesta tai sen lautasmäärästä:

- 110 kV jännitteellä eristimen pituus on noin 1 m ja eristinlautasten määrä on 6 - 8 kappaletta.
- 220 kV jännitteellä eristimen pituus on noin 2 m ja eristinlautasten määrä on noin 10 - 12 kappaletta.
- 400 kV jännitteellä eristimen pituus on noin 4 m, jolloin eristinlautasia on 18 – 24 kappaletta. (Tukes 2013)

Edellä mainittujen perusteella voidaan sanoa, että yksi eristinlautanen vastaa noin 20 kV jännitettä. Kuviossa 9 ja kuvassa 2 on esitelty erityyppisiä eristimiä ja niiden rakenteita.



Kuvio 9. Eristimet. (Korpinen 2008, kappale 3.1.1)

Kuvion 9 ylärivillä on esitelty yksittäisiä posliinieristimiä, joita käytetään esimerkiksi keskijännitesiihtoverkoissa. Ylärivin viimeisenä näkyvästä eristinlautasesta voidaan tehdä eristinnippu ketjuttamalla lautaset keskenään, kuten kuvassa 2 on esitetty. Tällöin saavutetaan jännitetason vaatima eristystaso.



Kuva 2. Petäjäveden uusille 400 kV linjoille tulevat lasieristinketjut.

### 3.2 Kokoojakiskot

Kiskosto yhdistää sähköaseman muuntajat ja asemalle liittyvät verkot kytkinlaitteiden välityksellä. Kokoojakiskosto on sekä rakenteellisessa että suunnittelun kannalta kytkinkentän tärkein kokonaisuus. Kiskoston tulee kestää nimellis- ja vikavirtojen lisäksi erilaisia mekaanisia kuormia, kuten tuulta, jäätä ja muita luonnon aiheuttamia kuormia. Kokoojakiskoston materiaali riippuu kiskoston kuormitettavuudesta: yli 1600 A nimellisvirroilla on käytettävä kaksoisjohtimia (alumiiniköysi) tai putkea, jolla on myös parempi oikosulku- ja koronavoimakesto. Taulukoissa 2 ja 3 on esitelty kokoojakiskoston rakennusmateriaaleja ja niiden oikosulkukestoja.

Taulukko 2. Alumiiniköyden kuormitettavuudet ulkona lämpötiloilla +20 - +80 astetta. (ABB 2000-07, Luku 13, 12)

Nimitys	Halkaisija mm	Johtimen poikkipinta mm <sup>2</sup>	Massa kg/m	Kuormitettavuus A
Ostrich	17,3	152/25 Al/Fe	0,613	550
Hawk	21,8	242/39 Al/Fe	0,975	745
Duck	24,1	305/39 Al/Fe	1,150	845
Finch	32,9	565/72 Al/Fe	2,120	1250
281 AlMgSi	21,8	281 AlMgSi	0,774	750
346 AL	24,2	346 Al	0,953	920
638 AL	32,9	638 Al	1,76	1340

Taulukko 3. Alumiiniputkien kuormitettavuus ulkona lämpötiloilla +20 - +80 astetta. (ABB 2000-07, Luku 13, 12)

Ulko/sisähalk.	Max tukiväli m	Poikkipinta mm <sup>2</sup>	Massa kg/m	Kuormitettavuus A
100/ 88 AlMgSi	11	1770	4,78	2700
100/ 80 AlMgSi	13	2827	7,76	3350
150/ 136 AlMgSi	16	3145	8,49	4100
250/ 236 AlMgSi	25	5344	14,43	6000

Kokoojakiskostot on jaettu kahteen ryhmään, pääkiskostoon ja apukiskostoon, joista ensimmäiseen yhdistytään katkaisijan välityksellä ja jälkimmäiseen erottimien kautta. Kuvissa 3 - 5 on nähtävissä sekä apu- että pääkiskoja. (Seppälä 2001-2003, 26; ABB 2000-07, Luku 13, 11-12; Fingrid 2015)



Kuva 3. Kokoojakiskosto 110 kV Junnilan sähköasemalta. (Määttä 2013, kuva 5336)



Kuva 4. Petäjäveden valmisteilla oleva 400 kV kytkinkenttä – edessä kokoojakiskosto ilman putkia sekä kiskostoon tulevat putket odottamassa asentamista.



Kuva 5. Kokoojakiskostoon tulevat alumiiniputket Petäjäveden 400 kV kytkinkentälle.

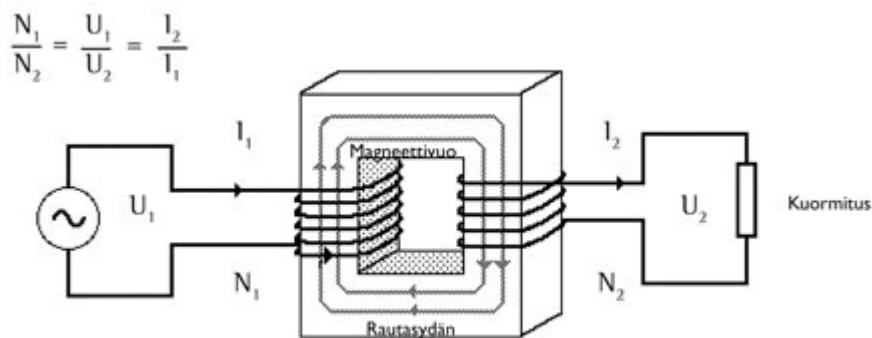
Kuvan 5 "AlMgSi" metalliseosputket ovat ulko/sisähalkaisijoiltaan 250/236 mm. Kuvan putkilla päästään jopa 6000 A nimellisvirtoihin.



### 3.3 Päämuuntaja

*”Tehomuuntajien tehtävänä on muuntaa sähköverkon osan jännite sopivaan tasoon joko voimansiirtoon, jakeluun tai kulutukseen sopivaksi. Kantaverkossa käytettävät siirtojännitteet ovat 110, 220 ja 400 kilovolttia.”* (Fingrid 2015)

Vaihtosähköverkoissa muuntajan (transformer) toiminta perustuu rautasydämessä ja käämityksissä tapahtuvaan sähkömagneettiseen induktioon, jossa jännitettä ja virtaa muutetaan siten, että teho pyrkii pysymään vakiona ensiö- ja toisio puolilla. Käytännössä muunnosprosessi aiheuttaa tehohäviötä, jolloin osa tehosta häviää lämpönä ympäristöön. Muunnosoperaatiossa tulevasta lämmöstä johtuen, muuntajan rautasydän ja käämitykset on upotettu muuntajaöljyyn. (Korpinen 2008, kappale 9.1; Fingrid 2015)



**Muuntajan toimintaperiaate.**

Kuvio 10. Muuntajan toimintaperiaate (Fingrid 2015)

Muuntajat ovat siirtoverkkojen kalleimpia yksittäisiä investointeja, minkä takia muuntajia tulee huoltaa säännöllisesti ja ne tulee varustaa erilaisilla suojalaitteilla kuten sähköisillä-, öljy- ja kaasureleillä sekä paine- tai pinnankorkeusantureilla. Muuntajan ihanteellinen käyttöikä huollettuna on 50 - 60 vuotta. (Nikkari 2009)

Kuvan 6 muuntajaa käytetään 400 / 110 kV sähköasemalla Forssassa. 400 kV jännitetason eristimien pituudesta (noin 4 m) hahmottaa tämänkin muuntajan kokuokan.



Kuva 6. Forssan sähköaseman 400/110 kV muuntaja (Määttä 2013, kuva 348)

### 3.4 Katkaisijat

Katkaisija (circuit breaker) on keski- ja suurjänniteverkoissa tärkein kytkinlaite (Fingrid 2015), jonka on pystyttävä avautumaan ja sulkeutumaan mahdollisimman suurella virralla. Käytännössä katkaisijan on pystyttävä katkaisemaan verkossa esiintyvät kuorma- ja vikavirrat ilman, että katkaisija vaurioituu tai että muun verkon osan käyttö häiriintyy tai vaarantuu. Katkaisijat toimivat manuaalisesti ohjattuna ja/tai automaattisesti releohjattuina. Yleisin syy virtapiirin automaattiseen katkaisuun on verkon ylivirta, oikosulusta johtuva vikavirta tai maasulku. Kuormitetun verkon tai sen osan katkaisu aiheuttaa koskettimien väliin va-

lokaaren, jonka kautta piiri pysyy suljettuna niin pitkään kunnes valokaari sammuu. Katkaisijan jousen ja kytkinlaitteen tila on pystyttävä toteamaan, kuten kuvassa 7 voidaan nähdä.



Kuva 7. Katkaisijan tilaosoittimet Petäjaveden 400 kV sähköasemalla

Katkaisijan toinen tärkeä ominaisuus on katkaisusta aiheutuvan valokaaren sammuttaminen katkaisijassa olevan väliaineen avulla. Katkaisijat on luokiteltu niiden sammutusväliaineiden perusteella:

- ilmakatkaisijoihin
- SF6-katkaisijoihin
- tyhjiökatkaisijoihin
- öljykatkaisijoihin
- vähäöljykatkaisijoihin. (Korpinen 2008, kappale 9.6.1)

Ilma- ja öljykatkaisimien valmistaminen on lopetettu – yleensä edellä mainittujen korvaajaksi on valittu SF6 -katkaisija tai tyhjiökatkaisija (lähinnä KJ-verkoissa). Kuvassa 8 on Halttulan sähköaseman SF6-katkaisija. Katkaisu sekä mahdollisen valokaaren sammutus tapahtuu ylemmässä osassa katkaisijaa ja alempi osa toimii eristimenä katkaisijan ja teräsrakenteen välillä. (Korpinen 2008, kappale 9.6.1)



Kuva 8. 110 kV SF6 -katkaisija Halttulan sähköasemalta. (Määttä 2013, kuva 2518)

Kuvassa 9 on esitettyä Kalajoen tuulivoimalapuiston kojeistolähdön tyhjiökatkaisija. Katkaisijaan on yhdistetty erotustoiminto, jossa erotusvälin todentamisena toimii vaunu. Erotin on auki kun vaunu on kuvan mukaan edessä ja alhaalla – kiinni laitettaessa vaunu siirtyy kojeistoa kohti ja kuvassa näkyvät vaihekoskettimet yhdistyvät kojeiston vaihekiskoihin. Katkaisijan ja sen viritysjousen asentoindikaattorit näkyvät katkaisijan ohjauspainikkeiden alla.



Kuva 9. Siemensin 20 kV ulosvedettävä vaunukatkaisija – tyhjiö väliaineena.

### 3.5 Erottimet

Erottimen (disconnector) tehtävä on muodostaa turvallinen avausväli erotettavan verkonosan sekä laitoksen välille eli erottaa kaksi verkon osaa luotettavasti toisistaan. Kiinni ollessaan erottimen on kestettävä verkon kaikki kuormitus- ja vikavirrat vaurioitumatta, avautumatta tai liiaksi lämpenemättä. Vaikka erotin kestää verkon virrat, sitä ei kuitenkaan ole tarkoitettu kuormitettujen verkon osien

erottamiseen toisistaan, vaan erottaminen tulisi tapahtua vähintäänkin virratonana (= jännitteellinen piiri ilman kuormaa). Erikoisrakenteisella erottimella (kuormaerotin) pystytään aikaisemmin mainittujen lisäksi erottamaan ja kytkeämään tietyn suuruisia kuormitusvirtoja sähköverkoissa. Yleensä erottimet ovat moottoreilla varustettuja etäohjattavia kytkinlaitteita, mutta varsinkin keskijännite-siirtoverkoissa on yleisesti käytetty pelkästään käsin ohjattavia pylväserottimia. (Korpinen 2008, kappale 9.6.2; Fingrid 2015)

Usein kytkinkentän erottimiin on lisätty mustakeltaiset maadoitussauvat, joilla erotettava johto tai verkon osa saadaan samalla maadoitettua kun erotin avataan (kuva 10).



Kuva 10. 110 kV erotin luotettavasti auki sekä muuntajan puoleinen linja maadoitettuna. Takana näkyy vastaavanlainen erotin kiinni. Kuva on otettu eräältä sähköasemalta Kalajoella.



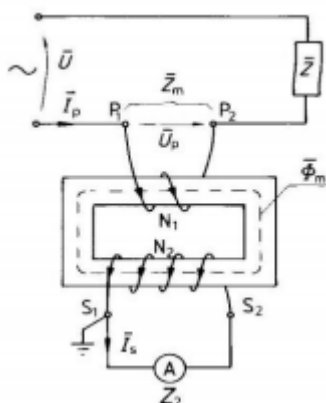
Kuva 11. Erottimen ohjaus voi tapahtua kuvan esimerkissä moottoriohjattuna etänä tai itse ohjauspisteessä ja kuvassa näkyvällä kammella käsivoimin.

### 3.6 Mittamuuntajat

Mittamuuntajat ovat jännitteen ja virran mittaukseen tarkoitettuja muuntajia, joita käytetään mittaus- ja suojauskäyttöön. Niiden tehtävä on muuntaa primääripiirin jännite- ja virtasuureet sähkömittauksen (mittaukset) tai suojalaitteiden (releet) standardisoiduille alueille eli muuntajat skaalaavat primääripiirin sähköiset arvot toisiopiirin laitteiden halutuille mitta-alueille. Lisäksi mittamuuntajilla saadaan galvaninen erotus ensiö- ja toisiopiirien välille. (ABB 2000-07, luku 10, 1; Korpinen 2008, kappale 9.3)

### 3.6.1 Virtamuuntaja

Virtamuuntajan tehtävä on muuntaa sähköverkon suuri primäärivirta pienemmäksi toisiopiirien käytettäväksi. Muunto tapahtuu perinteisen muuntajan tapaan sydämen ja käämien kautta (kuvio 10). Virtamuuntajassa on yksi tai useampi sydän, jossa muunto tapahtuu. Mikäli kyseessä on useampisydäminen virtamuuntaja, on jokaisella sydämellä yhteinen ensiökäämi, mutta oma toisiokäämi ja sen sydän. Tällöin jokainen toisiokäämi sydämineen toimii omana mittauspiirinään – mittaussydän mittauspiirinä ja suojaussydän suojauspiirinä. Ensiö- ja toisiokäämit tunnustaa niiden merkinnöistään – ensiökäämi merkitään P1 – P2 sekä toisiokäämi S1 – S2 kuten kuviossa 11 on esitetty. (ABB 2000-07, luku 10, 1-3 )



Kuvio 11. Virtamuuntajan periaatekuva (Aura & Tonteri 1986, 11)

Virtamuuntajat ilmoitetaan niiden mitoitusensiovirran  $I_{pn}$ , mitoitustoisiovirran  $I_{sn}$ , mitoitustaakan VA, tarkkuusluokan Cl, mittarivarmuuskertoimen  $F_s$  sekä tarkkuusrajakertoimen P mukaan kuten kuviossa 12 on esitetty. (ABB 2000-07, luku 10, 1 -3 )

-T21= Current transformer  
 250A/1A/1A  
 1. Core: 5VA Cl. 0,2S FS10  
 2. Core: 2,5VA Cl. 10P10

Kuvio 12. Virtamuuntaja T21 merkintätapa

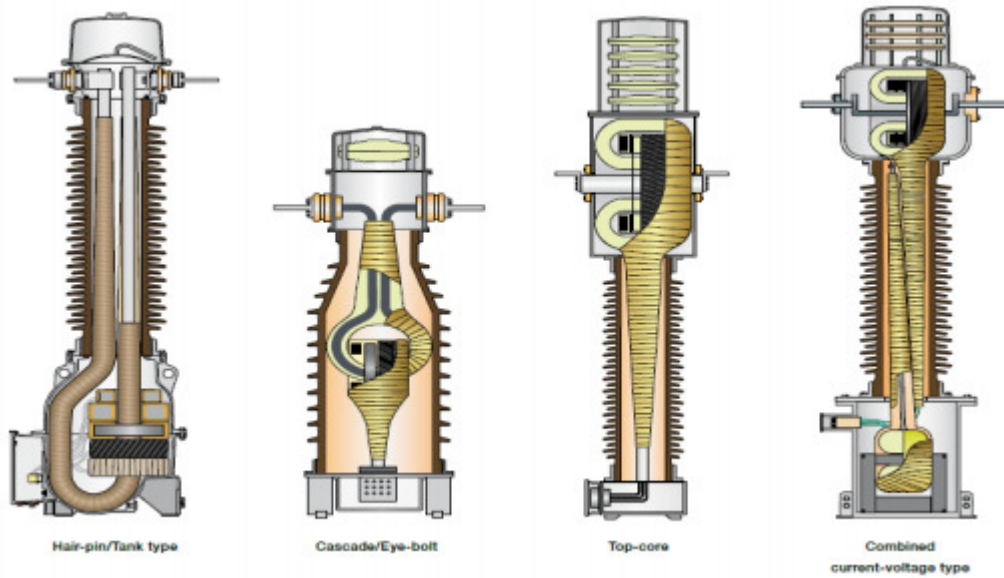


Kuvion 12 esimerkissä on siis kyseessä virtamuuntaja, jossa on mittaus- ja suojausydän (Core 1 & 2). Muuntajan mittausydämen taakaksi on ilmoitettu 5 VA, tarkkuusluokaksi 0,2S ja mittavarmuuskertoimeksi 10. Suojausydämen taakaksi on ilmoitettu 2,5 VA, tarkkuusluokaksi 10 ja tarkkuusrajakertoimeksi P10. Käytännössä kuvion 12 virtamuuntaja on kytketty erään tuulivoimapuistolähdön tuotannonseurantajärjestelmään eli sitä ei käytetä esimerkiksi releen ohjaamiseen (suojausydämen toisiokäämit oikosuljettu).

Kuvan 12 ja kuvion 13 "Top Core" - virtamuuntaja on hermeettisesti suojattu öljytäytteinen virtamuuntaja. Etuina tässä rakenteessa on hyvä kuormitettavuus mutta kotelointitavasta johtuen top coren sydämien määrä on pienempi kuin kuvion 13 muissa virtamuuntajamalleissa. (Elovaara & Haarla 2011, 212.)



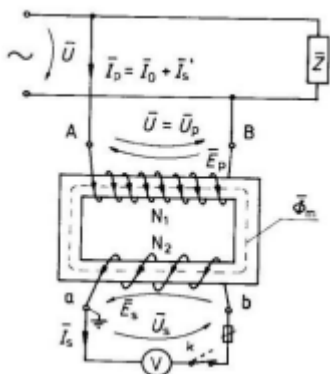
Kuva 12. Virtamuuntaja Petäjävedellä.



Kuvio 13. Sähköasemien virtamuuntajatyyppejä. (Sjövall & Findell 2009, 80)

### 3.6.2 Jännitemuuntaja

Jännitemuuntaja muuttaa ensiöpiirin jännitteen toisiopiireille sopivaksi ja samalla eristää ensiö- ja toisiopiirit toisistaan. Kuviossa 14 on esitetty jännitemuuntajan peruskytkenä, jossa mittamuuntajan ensiökäämi kytketään mitattavan piirin rinnalle joko vaiheiden tai vaiheen ja nollan väliin. Ensiöpuoli merkitään A – B ja toisiopuoli a – b. (Aura & Tonteri 1993, 309)

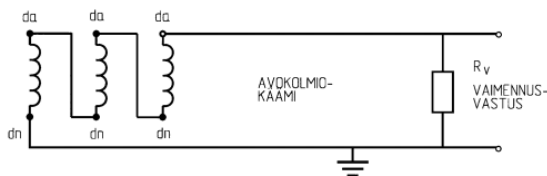


Kuvio 14. Jännitemuuntaja (Aura & Tonteri 1986, 117)

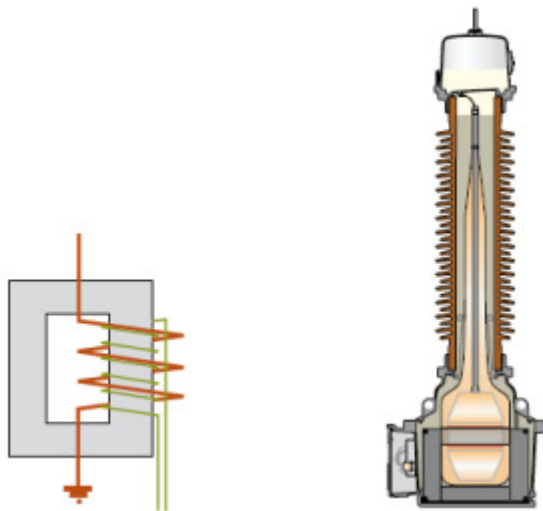
Kuten virtamuuntajassa, jännitemuuntajassa voi myös olla yksi tai useampi toisiokäämi. Toisiokäämien käyttö jaotellaan kolmeen tapaukseen:

- Toisiokäämiä käytetään jännitemittaukseen
- Suojuskäämiä voidaan käyttää sekä suojaamiseen että mittaamiseen
- Avokolmiokäämiä käytetään maasulkusuojana. (ABB 2000-07, luku 10, 8)

Avokolmiossa oleva maasulkusuoja tarkoittaa sitä, että kolmen yksivaihejännitemuuntajan muodostaman kolmivaihe ryhmän toisiopuolen käämit kytketään avokolmioksi, jonka yksi kulma jätetään kytkemättä mukaan kolmioon. Kolmion ulkopuolelle jäänyt kulma kytketään maan potentiaaliin kuvion 15 mukaan.



Kuvio 15. Avokolmiokäämi. (ABB 2000-07, luku 10, 11)



Kuvio 16. Jännitemuuntajan rakenne (Sjövall & Findell 2009, 83)

Jännitemuuntajia on kahta eri tyyppiä: induktiivinen- ja kapasitiivinen jännitemuuntaja. Kuviossa 16 on esitetty induktiivinen jännitemuuntaja, jolla on saman-

lainen toimintaperiaate kuin perinteisellä muuntajalla – ensiöpiirin jännite muunnetaan yhden rautasydämen välityksellä toisiopiiriin. (Elovaara & Haarla 2011, 217–218.)

Induktiivisessa jännitemuuntajassa ensiöjännite on riippuvainen verkon nimellijännitteestä, jota mitataan joko vaiheiden tai vaiheen ja nollan väliltä. Kuviossa 17 on esitetty jännitemuuntajan merkintätapa vaihejännitettä mitatessa.

-T15= Voltage transformer  
 $\frac{20kV}{\sqrt{3}} / \frac{100V}{\sqrt{3}} / \frac{100V}{\sqrt{3}} / \frac{100V}{3}$   
 1. Winding: 10VA Cl. 0,2  
 2. Winding: 10VA Cl. 0,2  
 en-winding: 100VA Cl. 6P

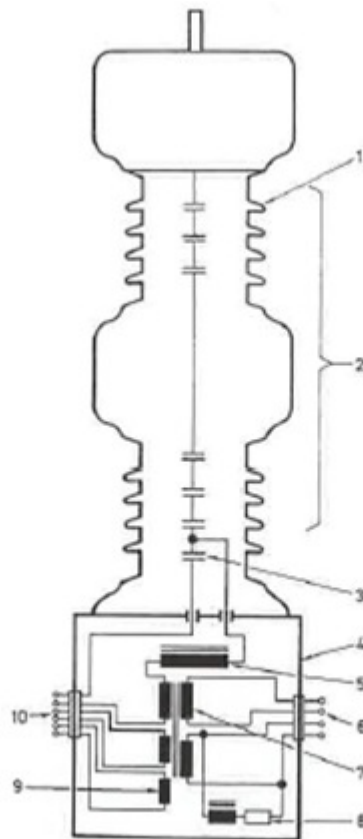
Kuvio 17. Jännitemuuntaja T15 merkintätapa

Kuvion 17 jännitemuuntajassa on yksi ensiökäämi ja toisiopuolella kolme mittaus- ja suojauskäämiä. Mitoitusensiöjännite  $U_{pn}$  on  $20kV:\sqrt{3}$  (vaihejännite), mitoitus-toisiojännitteet  $U_{sn}$   $100V:\sqrt{3}$  (vaihejännite) ja viimeisenä avokolmiokäämi  $100V:3$ . Jännitemuuntajien taakat ja luokat merkitään samaan tapaan kuin virtamuuntajissa. (ABB 2000-07, luku 10, 7-9)

Kapasitiivinen jännitemuuntaja eroaa induktiivisesta rakenteeltaan - se sisältää kolme toiminnan kannalta olennaista osaa: kapasitiivinen jännitejakaja, induktiivinen jännitemuuntaja ja sähkömagneettinen yksikkö, joka suojaa mittamuuntajaa jänniteresonoinnilta. Kapasitiivisia jännitemuuntajia käytetään lähinnä vain suurjännitepuolella ( $U_N \geq 110 kV$ ). Kuvassa 13 on esitetty Mäntän sähköasemalla sijaitseva yksittäinen kapasitiivinen jännitemuuntaja, jonka rakenne on kuvattu kuviossa 18. (Sjövall & Findell 2009, 23.)



Kuva 13. Kapasitiivinen jännitemuuntaja. (Määttä 2015, kuva 8293)



Kuvio 18. Kapasitiivinen jännitemuuntajan rakenne: 1. kapasitiivinen jännitteenjakaaja, 2 suurjännitekondensaattori, 3 välijännitekondensaattori, 4 välimuuntaja, 5 kompensoimiskuristin (resonanssikela), 6 toisioliittimet, 7 muuntajakäämitys, 8 vaimennuspiiri, 9 virityskela, 10 vityspiirin liittimet ja pienjänniteliittimet (Elovaara & Laiho 2007,282)

### 3.7 Kompensointilaitteisto

Sähköasemilla kompensoinnilla voidaan tarkoittaa loistehon kompensointia tai maasulkuvirran kompensointia (KJ-verkot). Tässä kappaleessa keskitytään runkoverkon kompensointilaitteistoon, jolla tuotetaan tai poistetaan loistehoa verkosta.

Sähköverkossa on laitteita, jotka tarvitsevat loistehoa toimiakseen, eikä sitä aina voida tuottaa paikallisesti. Tällaisia laitteita ovat verkossa induktiivisena kuormana olevat koneet, kuten esimerkiksi muuntajat ja moottorit, jotka tarvitsevat

loistehoa magneettikentän ylläpitämiseen. Edellä mainittujen lisäksi loistehokompensoinnilla voidaan pienentää pätötehohäviötä (kokonaisvirta pienenee lähelle pätövirtaa), joka tarkoittaa myös sitä, että pätötehoa voidaan siirtää samassa johdossa enemmän. Kondensaattori on ideaalinen komponentti liian induktiivisen loistehotarpeen kompensoimiseen verkosta sen sähköenergian varastoimiskyvyn takia. Jakeluverkoissa loisteho kompensoidaan yleensä rinnakkaiskondensaattoriparistoilla. (Korpinen 2008, kappale 9.7)

Loistehotuotannon tulee olla tasapainossa (kulutus + häviöt) sitä tarvitsevien laitteiden kanssa. Loistehoepätasapaino vaikuttaa verkon jännitetasoon siten, että esimerkiksi liiallinen loistehotuotanto nostaa verkon jännitettä. Liika loisteho voidaan poistaa verkosta reaktorin (rinnakkaiskuristimen) avulla. Kuristimet ovat induktiivisia kuormia, jotka toimivat päinvastoin kuin kondensaattorit. Reaktoreita tarvitaan yleensä pienen kulutuksen aikana, jolloin johtojen tuottama loistehoa pitää saada kompensoitua pois verkosta. Loistehoa voidaan kompensoida verkoon keskitetysti siihen tarkoitetuilla laitteistoilla (kuva 14). (ABB 2000-07, luku 10, 7-9)



Kuva 14. Kompensointilaitteistoja: Reaktorit vasemmalla ja kondensaattorit oikealla. (Hautaniemi Olli, 38)

Kuvan 14 reaktorit on rakennettu sylinterin sisään sylinterin muotoisista kolmesta yksivaiheisesta keloista joiden jäähdytykseen käytetään ilmaa (ilmasydäminen). Reaktorit on kytketty rinnan kuormaan nähden. (Elovaara & Laiho, 2007, 287)

Runkoverkoissa, varsinkin 400 kV jännitetasossa, kompensointi tehdään sarjakompensointina, jolloin kondensaattorit kytketään sarjaan kompensoitavan verkon kanssa. Sarjakompensoinnin tarkoitus ei niinkään ole poistaa loistehoa verkosta vaan pienentää siirtotien reaktanssia sekä jännite- ja siirtohäviöitä. Keski-jännitepuolella kompensointia tehdään yleensä rinnankompensointina, jossa kondensaattorit kytketään kompensoitavan verkon rinnalle, jolloin kondensaattoriparit ruokkivat verkon loistehokuormaa. (ABB 2000-07, luku 10, 7-9; Hautaniemi 2014, 39)

### 3.8 Toisiojärjestelmä

Sähköasemalla toisiojärjestelmän (apujärjestelmät) tarkoitus on valvoa, ohjata sekä suojata primäärijärjestelmän prosesseja. Suurin osa em. prosesseista on automaattisesti toteutettuja toimintoja, joita valvotaan keskitetysti esimerkiksi valvontakeskuksesta. Seuraavissa kappaleissa käsitellään toisiojärjestelmän laitteistoja ja kokonaisuuksia.

#### 3.8.1 Toisiojärjestelmän kaapelointi

Sähköasemaprojekteissa tapahtuva kaapelointi on pääosin toisiojärjestelmän piirissä tapahtuvaa kaapelointia. Kantaverkkojen sähköasemien toteutuksessa on kaapelityypeiksi valittava Fingridin ”hyvät asennustavat” – ohjeiden mukaan:

- 220 kV ja 400 kV kentille (myös kentän läpi menevät kaapelit), muunnoille sekä reaktori-laitoksille menevien kaapeleiden tulee olla EMC –suojattuja, esimerkiksi MCCMK, MCCMO –kaapelityypit.
- Muilla jännitetasoilla sekä prosessikaapeloinnille sisätiloissa riittää EMC suojaamaton MCCMK-kaapelointi.
- MMJ/MMO saa käyttää vain aseman sisäisessä kaapeloinnissa.



- Kuitukaapeleiden tulee soveltua ulkokäyttöön. (Fingrid , Hyvät asennustavat 2013)



Kuva 15. Kaapelireitti kytkinkentältä asemalle

Kuvassa 15 näkyy Petäjäveden 400 kV kytkinkentältä asemarakennukseen menevä kaapelireitti. Usein kaapelitie rakennetaan elementeistä mutta tässä tapauksessa kaapelitien pohja on valettu työmaalla. Tässä ojassa kaapeloinnit ovat pääosin EMC – suojattuja MCCMK- ja MMCMO – kaapeleita. Oranssi kaapeli on kuitua.

### 3.8.2 Suojareleet

Suojarele on sähköverkon suureita mittaava laite, jonka tehtävä on suojata sähköverkon laitteita ja järjestelmiä sekä verkon käyttäjiä erilaisissa vikatilanteissa. Erilaisia vikatilanteita voi olla mm. oikosulut, maasulut, ylikuormitukset, yli- ja alijännitteet ja erilaiset katkokset. Releen toiminta perustuu mittamuuntajan antaman arvon vertaamiseen asetettuun toimintarajaan. Toimintarajan ylittyessä tai alittuessa rele havahtuu ja toteuttaa laukaisun joko välittömästi tai releen asetukseen määritetyn ajan kuluttua mikäli tila ei ole poistunut. (ABB 2000-07, luku 10, 14-15)

Jotta relesuojaus on hyvin toteutettu, siltä vaaditaan:

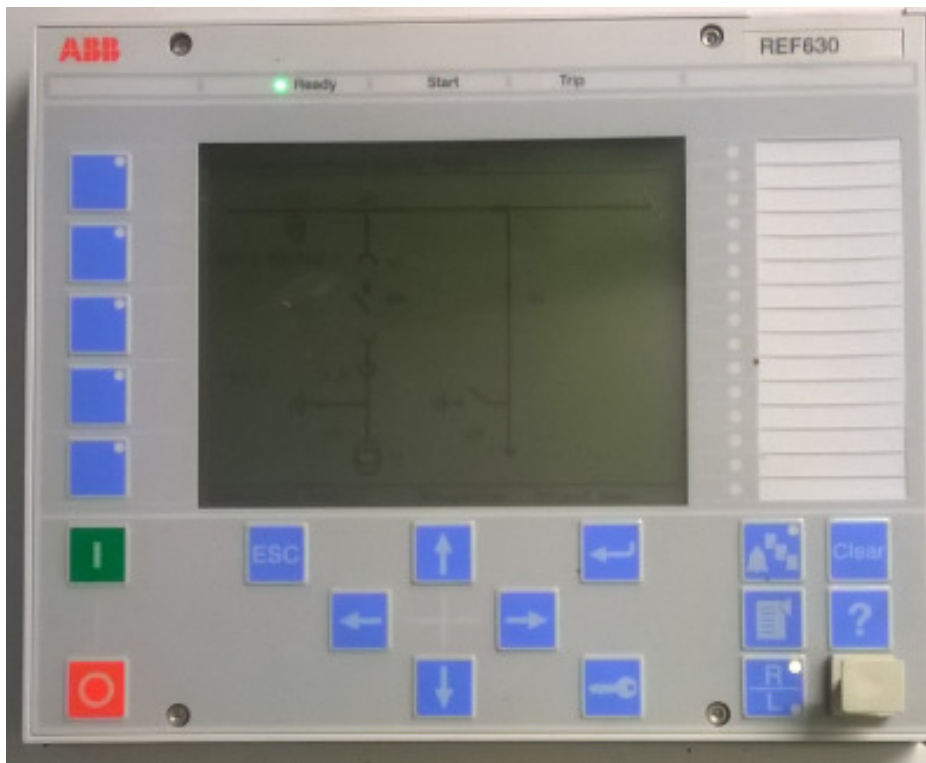
- Selektiivisyyttä – katkaisun tulisi tapahtua mahdollisimman lähellä vikapaikkaa.
- Katkaisun pitää tapahtua riittävän nopeasti, jotta vian aiheuttamat vaarat, vauriot, häiriöt ja haitat jäävät mahdollisimman pieniksi.
- Verkon stabiilisuuden tulee säilyä kaikissa olosuhteissa.
- Suojauksen tulee kattaa koko suojattava järjestelmä.
- Toteutuksen tulee olla käyttövarma sekä mahdollisimman yksinkertainen.
- Suojauksen käytettävyyden tulee olla hyvä sekä kustannustehokas.
- Suojaus on oltava koestettavissa käyttöpisteessä. (Elovaara & Laiho, 2007, 389-390)

Suojareleet on jaoteltu seitsemään eri ryhmään niiden tarjoamien suojaustapojen perusteella:

- ylivirtareleet
- yli- ja alijännitereleet
- taajuusreleet
- suunta- ja tehoreleet
- epäsymmetriareleet
- vertoreleet
- distanssireleet. (Mörsky, 1992, 210-226)

Vanhimmat käytössä olevat releet ovat olleet sähkömekaanisia, joissa sähköisten arvojen vertaaminen perustuu mekaaniseen voimaan ja liikkeeseen (kuva 17). Staattiset (elektroniset) releet tulivat markkinoille 1960, jolloin mekaaniset laitteistot korvattiin elektroniikalla. Releen fyysisen koon pientymisen lisäksi staattisilla releillä pystytään toteuttamaan tarkempia, nopeampia ja mekaanisia releitä vaativampia suojaustoimintoja. Haittapuolena sen sijaan oli tarve apusähkölle ja herkkyys ylijännitteille sekä magneettisille häiriöille. Vuoden 1980 alusta

lähtien releet ovat pohjautuneet mikroprosessoritekniikkaan (kuva 16). Mikroprosessoritekniikan myötä releet voitiin yhdistää tiedonsiirtoväylään, jonka kautta suojarelleen tietoja voitiin siirtää ylempään automaatioon. (ABB 2000-07, luku 10, 14-15; Korpinen 2008, kappale 5.6)



Kuva 16. ABB REF630 suojarеле.

Kuvista 16 ja 17 voidaan hahmottaa kokoeroa, jonka releiden kehitys on saanut aikaan. Mikroprosessoritekniikkaan perustuva rele on kooltaan noin 1/8 kuin edeltäjänsä jonka lisäksi releen suojaominaisuudet ja muut ominaisuudet ovat moninkertaiset. Mekaanisilla suojarelleilla pystyttiin suojaamaan vain yhtä suojakohdetta relettä kohden.



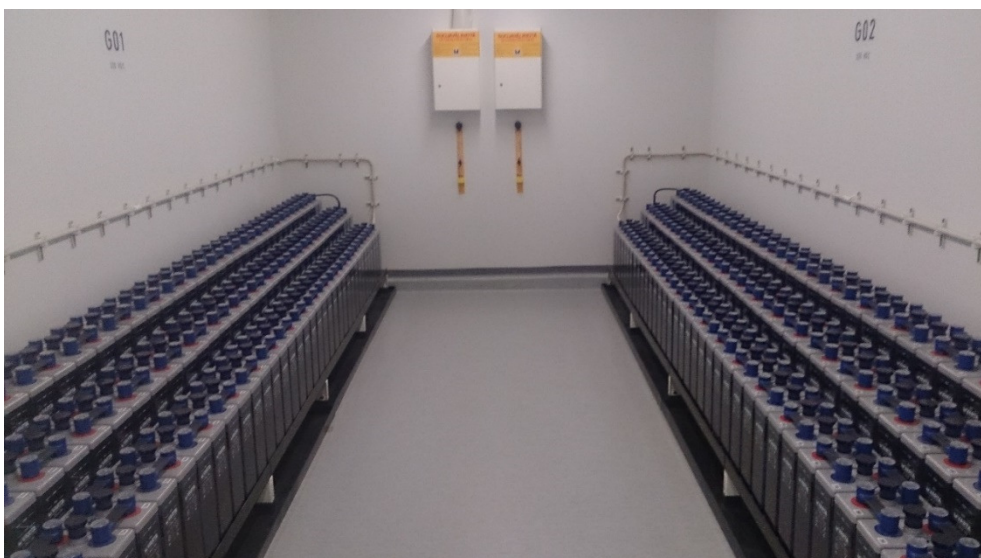
Kuva 17. Mekaaninen suojarele merikosken voimalaitoksen museosta

### 3.8.3 Apusähköjärjestelmät

Apusähköjärjestelmän tehtävänä on järjestää sähkönsyöttö aseman ensiö- ja toisiopiirin laitteille ja varmistaa aseman käyttövarmuus. Sähköaseman apusähköjärjestelmät on jaettu kahteen omaan osioon: omakäyttöjärjestelmä (400/230 VAC) ja tasasähköjärjestelmä (110 tai 220 VDC). (Ojavalli 2011, 20)

Omakäyttöjärjestelmään, eli vaihtosähköjärjestelmään kuuluvat lähinnä aseman pienjännitelaitteet ja järjestelmät, joita ovat esimerkiksi tasasähköjärjestelmän syöttö, asema-alueen valaistus, asemarakennuksen lämmitys sekä alueella olevat voima- ja pistorasiaryhmät. Omakäyttöjärjestelmän syöttö voidaan järjestää asemalle pienjännitesyöttönä mutta yleensä asemalla on tehtävään tarkoitettu omakäyttömuuntaja ja siihen liittyvä kojeisto. (Ojavalli 2011, 20)

Tasasähköjärjestelmän tulee olla varmennettu – sen tulee varmistaa aseman hallinta- ja suojalaitteiden toimivuus. Tasasähköjärjestelmiä on yleensä kaksi, ja ne ovat toisistaan erillään ja ristiin varmennettuja. Tasasähköjärjestelmää ja sitä varmentamaa akustoa syötetään omakäyttökeskuksesta tasasuuntaajia käyttäen. Akuston tulee varmentaa ainakin suoja releet, kaukokäyttö, katkaisijoiden viritysmoottorit, erottimien ohjausmoottorit ja lukitusjännitteet. Omakäyttösähkönsyötön vian ilmentyessä akuston tulisi varmentaa aseman laitteistot ainakin kymmenen tunnin ajan. 220 VDC ja 110 VDC jännitetasojen lisäksi asemalla voi olla myös 24 V, 48 V sekä 60 V tasasähköjärjestelmät, mutta ne ovat yleensä tuotettu DC/DC -muunnolla päätasasähköjärjestelmästä. 24 VDC ja 48 VDC käytetään lähinnä automaatiojärjestelmissä, merkinanto- ja hälytysjärjestelmissä sekä kaukokäyttöjärjestelmän apujännitteenä. (Siivonen 2007, 17-18)



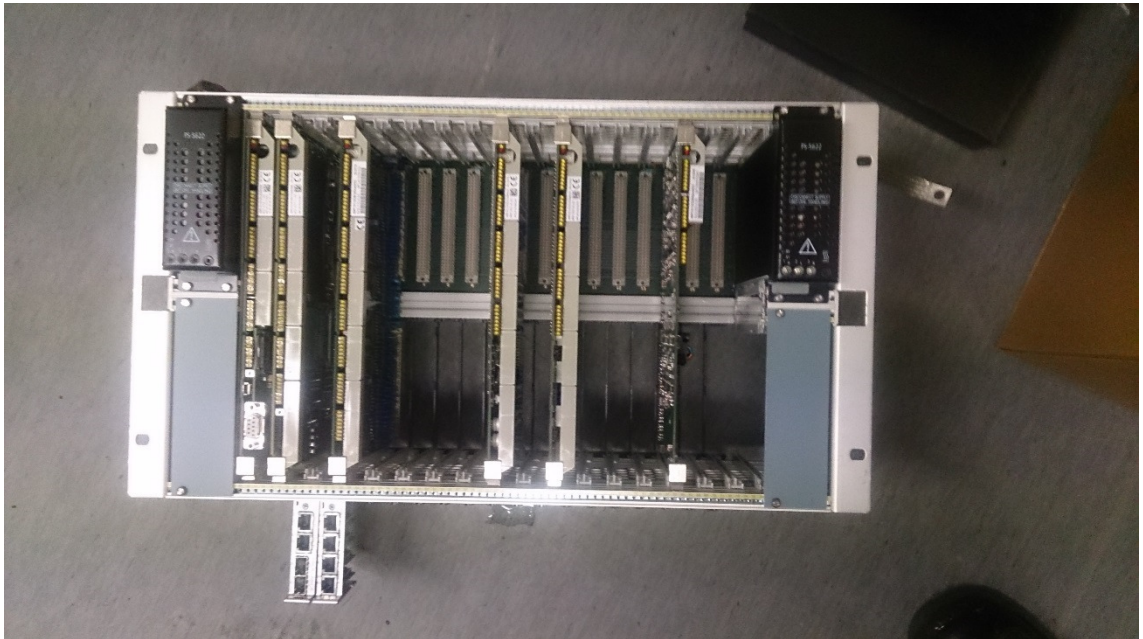
Kuva 18. Akkuhuone Petäjäveden sähköasemarakennuksessa.

Kuvassa 18 on nähtävissä tasasähköjärjestelmän akusto. Huoneessa on kahdennettu akusto, joissa molemmissa jännite 220 VDC.

#### 3.8.4 Automaatio- ja tietoliikennelaitteistot

Sähköasema-automaatio hoitaa sähköasemaan liittyvän ohjauksen, mittauksen, säädön, ja valvonnan. Sähköaseman suojaamisen hoitavat edelleen releet mutta nekin ovat nykyisin hyvin integroitu sähköaseman automaatioon muun muassa tiedonsiirtoväylien välityksellä. Releiden kautta hoidetaan mm. mittauksia, tapahtumatiedostojen kirjauksia ja kytkinlaitteiden ohjaamista. (Ojavalli 2011, 20-21)

Tietoliikennejärjestelmät toimivat siltana niin aseman sisäisessä tiedonsiirrossa kuin ulkopuolisessa liikenteessä. Laitteiden välisenä tiedonsiirtoväylänä on käytetty kuparia tai valokuitua. Kuparia käytetään lähinnä aseman sisäisessä tiedonsiirrossa ja kuitua aseman ulkopuolella. Tietoliikenteen keskeisenä osana toimii RTU (Remote terminal unit) kaukokäytön ala-asema, jonka kautta sähköasemaa ja sen toimintoja voidaan ohjata etäisesti. RTU on myös rajapinta automaatiojärjestelmään, jonka kautta asemalta saadaan kytkinlaitteiden tilatiedot, mittaukset, ohjaukset sekä tapahtuma- ja hälytystiedot valvomo-ohjelmistolle. Kuvassa 19 on RTU ja sen perusosat: mustat jännitelähteet, CPU-kortit ja tietoliikenneportit. (Ojavalli 2011, 21)



Kuva 19. RTU ennen asentamista.

Paikallinen ohjaus tapahtuu HMI:n (Human Machine Interface) kautta. HMI voi olla integroituna tietoliikennekaappiin, mutta yleensä sen tehtävää ajaa tavallinen pöytäkone, joka on yhdistetty aseman sisäverkkoon (Ojavalli 2011, 21). Kuvassa 20 on esitetty HMI-keskusyksikkö, joka on täysin passiivinen. Kyseinen laite ei sisällä yhtään liikkuvaa osaa (SSD-kiintolevy ja passiivinen jäähdytys).



Kuva 20. HMI keskusyksikkö Petäjävedellä.

## 4 SÄHKÖASEMARAKENTAMINEN

### 4.1 Sähköasemaprojektit

Tämän opinnäytetyön kirjoittamisen hetkellä Fingridillä on meneillään yli 20 sähköasemahanketta eri puolella suomea. Hankkeet liittyvät suurelta osin 400 kV jännitetason sähköasemien päivittämiseen, laajentamiseen tai uudelleen rakentamiseen. Seuraavissa kappaleissa käsitellään Fingridin kahta sähköasemaprojektia, joissa Empower PN Oy toimii pääurakoitsijana. (Fingrid 2015)

#### 4.1.1 Mänttä

Fingrid Oy toimii tilaajana uudella Mäntän 110 kV kytkinlaitoksella, joka sisältää kuusi 110 kV kenttää, 1 PK (pääkisko) + AK (apukisko) 1 kiskojärjestelmän, kiskokatkaisijakentän sekä uuden valvomorakennuksen. Vanhan Mäntän sähköaseman lähdöt siirretään vaiheittain uudelle kytkinkentälle, jonka rakentaminen on aloitettu 06/2015 ja sähköasema otetaan käyttöön kesäkuun 2016 aikana. Toteutuksen investointikustannus on noin kolme miljoonaa euroa. Sähköasemaprojekti toteutetaan ”avaimet käteen ” -periaatteella, jolloin asema luovutetaan tilaajalle täysin valmiina. Kuvassa 21 näkyy rakenteilla oleva uusi kytkinkenttä ja sen taustalla näkyvä vanha kytkinkenttä, joka poistuu käytöstä uuden myötä. (KVM-lehti, 22.6.2015)





Kuva 21. Mäntän uusi kytkinkenttä ja sen takana näkyvä vanha kytkinkenttä (Empower PN Oy)

#### 4.1.2 Petäjävesi

Fingrid Oy rakennuttaa Petäjävedellä 400 kV jännitetason sähköaseman, jonka tarkoituksena on parantaa alueen kantaverkon käyttövarmuutta. Asema toimii aluksi 220 kV jännitteellä, josta siirrytään vaiheittain 400 kV jännitetasoon. Asemalle rakennetaan nelikenttäinen 400 kV duplex-kytkinlaitos, laajennetaan asemalla jo olevaa 110 kV kytkinlaitosta, lisätään 400 MVA muuntaja ja 20 kV kytkinlaitosreaktoria varten. Uuden aseman myötä olemassa olevan aseman suojaus-, ohjaus-, valvonta- ja apusähköjärjestelmät uusitaan. Petäjäveden uusi kytkinkenttä rakennetaan käytössä olevien voimalinjojen alle, joten rakentamisen aikana pääurakoitsijalta vaaditaan erityistä tarkkaavaisuutta. Asema valmistuu syksyyn 2016 mennessä. Kuvassa 22 on esitetty rakenteilla oleva 400 kV kytkinkenttä ja sen molemmin puolin kulkevat voimalinjat (110 kV & 220 kV). Kyseinen kytkinkenttä otetaan aluksi käyttöön 220 kV jännitteellä mutta myöhemmässä vaiheessa käyttöön tulee 400 kV jännitetaso. (Fingrid 2015)



Kuva 22. Petäjäveden kytkinkenttä ja muuntajabunkkeri käytössä olevien voimalinjojen alapuolella.

#### 4.2 Pää toteuttaja

Pää toteuttaja on tilaajan tai rakennuttajan nimeämä pääurakoitsija, joka on sitoutunut toteuttamaan urakkasopimuksessa määritetyt työt. Pää toteuttajalla on velvollisuuksia ja vastuita, jotka ovat määritetty työturvallisuuslaissa (205/2009) 2 §:n 4. Työmaan kokonaisjohdon ja valvonnan lisäksi pää toteuttajan vastuulla on:

- työmaan ennakoilmoituksen tekeminen työsuojelupiirille.
- valita pätevät urakoijat- ja turvalliset työmenetelmät työmaalle.
- nimetä työmaan vastuuhenkilöt.
- huolehtia
  - o työmaan turvallisuudesta
  - o rakennusprojektin osapuolien toimintojen yhteensovittamisesta
  - o yhteistoiminnan ja tiedonkulun järjestämisestä urakoitsijoiden kesken
  - o työpaikan vaaratekijöiden ilmoittamisesta urakoitsijoille ja heidän työntekijöilleen

- työmaan yleisten olosuhteiden ja työvaiheiden ajoituksista.  
(Lehtinen 527)

Päätoteuttaja on myös velvollinen ilmoittamaan kaikkien työmaalla työskentelevien urakoitsijoiden työntekijöiden tiedot keskitetysti veroviranomaiselle. (Vero.fi 2016)

#### 4.3 Toteutusorganisaatio

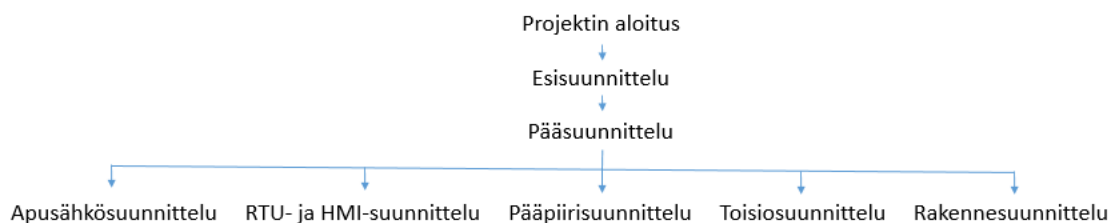
Sähköaseman työmaatoimintoja aloittaessa projektille on valittu projektiryhmä, jonka keskeisenä tehtävänä on viedä projekti alusta loppuun. Jokaisella projektin jäsenellä on oma roolinsa – ”kaikki eivät tee kaikkea vaan kullakin on oma tehtävänsä”. On varmistettava, että projektin kannalta oleelliset tehtävät on jonkun projektiryhmän jäsenen vastuulla. Tyypillisissä projekteissa on ainakin seuraavat jäsenet: projektipäällikkö, projektiryhmä, projektin johtoryhmä ja tilaaja. (Karlos & Martinsuo & Kujala 2006, 287-288).

Fingridin sähköasemaprojekteissa projektiryhmän jäsenien pätevyys ja ammattitaito ovat hyvin tärkeissä rooleissa projektiryhmää valittaessa. Projektiryhmät on hyväksyttävä tilaajalla ennen projektin virallista aloittamista. Petäjäveden sähköasemaprojekti luonnehditaan keskisuureksi (Salonen 2015) ja sen projektiryhmä koostuu seuraavista jäsenistä: projektipäällikkö, työmaapäällikkö, rakennustöiden valvoja, projekti-insinööri, asentajaryhmä ja työmaapäällikön sijainen tarvittaessa.

#### 4.4 Esi- ja pääsuunnittelu

Hyvä suunnittelu antaa pohjan hyvälle ja kustannustehokkaalle projektille. Suunnittelun osuus karkeasti arvioiden on vain 10 % kokonaiskustannuksesta vaikka se yleensä on projektin laajin kokonaisuus (Projektinhallintakurssi 2006). Suunnittelu aloitetaan ennen kuin projektisopimusta on edes allekirjoitettu (=tarjouslaskenta) ja yleensä tämä osuus on tilaajalle ilmainen.

Empowerilla sähköasemasuunnittelu voi mennä esimerkiksi kuvion 19 mukaisesti (vaihtelee projektin mukaan).



Kuvio 19. Sähköasemasuunnittelun rakennekaavio.

Esisuunnittelut aloitetaan heti projektin aloituksen jälkeen. Esisuunnittelu toteutetaan tilaajan haluamien detaljien mukaan ja pääkomponentit hyväksytetään asiakkaalla ennen hankintaa. Esisuunnittelu on projektin aikataulun kannalta kriittisin vaihe, koska pääpiirikomponentit pitää hyväksyttää sekä tilaajalla että hankinnasta vastaavalla henkilöllä. Tilausviivästyksset voivat lisätä toimitusaikaa kuukausilla (Hakala 2015). Kun pääpiirikomponentit on varmistettu, aloitetaan pääsuunnittelu, jossa suunnitellaan esimerkiksi sähköaseman aluesuunnitelmat sekä niiden maanrakennusalueet, perustukset, maadoitukset ja kaapelireitit. Pääsuunnittelu jakautuu kuvion 19 mukaisesti sähköasemasuunnittelun omille osa-alueille, joista vastaa jokaisen osion oma suunnittelija.

#### 4.5 Hankinta ja alihankinta

Hankinta voi käsitteenä tarkoittaa fyysistä materiaalia tai työmaalle sijoituvaa työpanosta. Työmaalla tapahtuva muulle kuin pääurakoitsijalle kuuluvat työpanosta kutsutaan alihankinnaksi. Sähköasematyömaalla suurimmat hankinnat liittyvät yleisesti sähköaseman toiminnan kannalta olennaisiin komponentteihin: muuntajiin, kytkinlaitteisiin, teräsrakenteisiin, kiskostoihin, maadoituskupareihin ja kaapeleihin. Edellä mainituista teräsrakenteiden, kiskoston, kuparin ja joiltakin osin kaapelin hinnat riippuvat paljolti niiden materiaalien markkinahinnoista (metallit). Muiden hankintojen hinta voi vaihdella paljonkin toimittajien suhteen. Hankintojen toimitusajat vaihtelevat saatavuuden mukaan. Kriittisimmät hankinnat

ovat primaaripiirin laitteistot, joiden toimitusajat voivat olla jopa 6-12 kuukautta. (Empower PN Oy, sisäinen projektimateriaali)

Alihankinnan määrä riippuu siitä miten paljon pääurakoitsija voi toteuttaa rakentamista työmaalla. Yleensä tekeminen keskittyy omaan ydinosaamiseen ja loput tehdään aliurakoinnilla. Sähköasemaprojekteissa ydinosaaminen keskittyy yleensä sähköaseman keskeiseen osaan eli aseman sähkörakentamiseen ja sen ulkopuoliset työt, kuten maanrakennus ja perustustyöt, tehdään alihankintana.

#### 4.6 Rakennustyöt

Tyypillisesti sähköasemalle tehtäviä rakennustöitä ovat: maa- ja pohjarakennus-, tierakennus-, perustus- ja pylväs-, kojeteline- ja kojeasennus-, kaapelikanava- ja kaapelireittityöt. Seuraavissa kappaleissa käsitellään edellä mainittuja rakennus- ja asennustöitä yleisellä tasolla. (Empower PN Oy, tarjousmateriaalit)

##### 4.6.1 Maanrakentaminen

Maanrakentamisen laajuus riippuu tilaajan ja pääurakoitsijan sopimuksesta, mutta esimerkiksi Petäjäveden ja Mäntän sähköasemaprojekteissa urakka-alueet luovutetaan -1 m valmiista tasosta. Maanrakentamisesta toimitetaan selostus, joka sisältää kaikki maanrakennusurakan sisältämät työt ja niiden vaatimukset. Pää toteuttaja vastaa siitä, että aliurakointi tehdään tilaajan vaatimuksien mukaan. Yleisesti ottaen maanrakennus sisältää kaivuuta, massanvaihtoa, tiivistystä ja tarpeen vaatiessa louhintaa. Usein maanrakennusurakoihin kuuluvat myös salaojakaivojen ja suodatinkankaiden asentaminen kentälle. Lopputuloksena on riittävän kantava maa tilaajan haluamassa tasossa. (Empower PN Oy, tarjousmateriaalit)



Kuva 23. Petäjävedellä portaalikanavannon lähtötaso. (Empower PN Oy)

Kuvassa 23 näkyy Petäjävedellä maanrakennusurakoitsijan vastaanottama maanrakentamisen aloitustaso. Kyseessä on siis portaalikanavanto, jonka päälle rakennetaan portaalien betonivalut.



Kuva 24. Maanrakennuksen lähtötaso Mäntässä – vasemmalla portaalikanavanto. (Empower PN Oy)

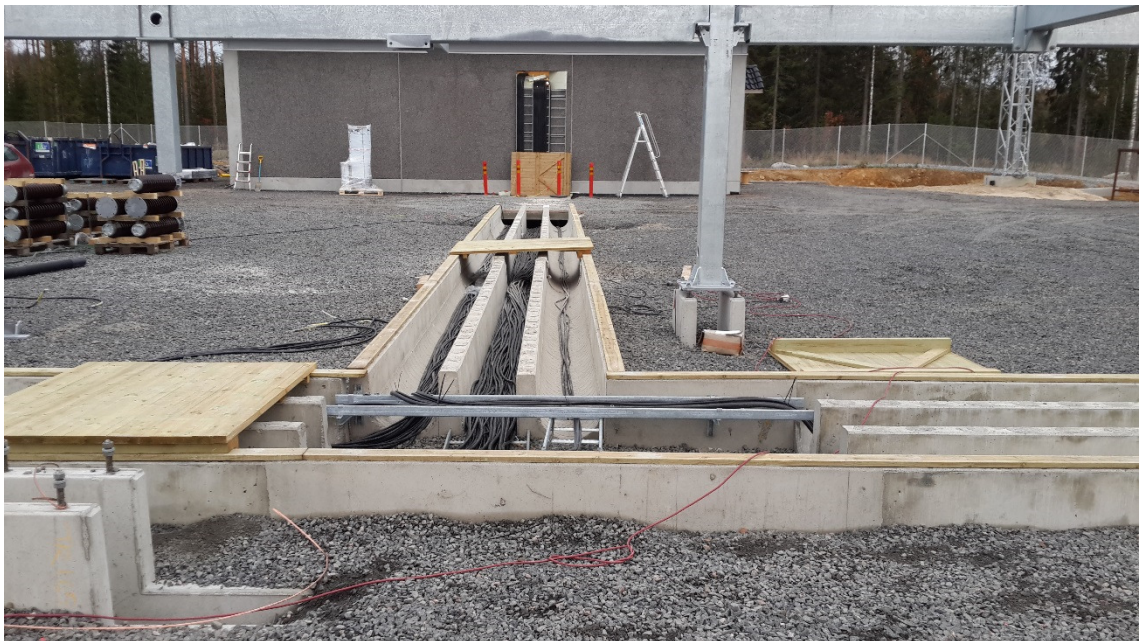
Kuvassa 24 on esitetty Mäntän vastaava lähtötaso kuin Petäjävedellä. Kuvista huomaa, että Petäjäveden ympäristö on huomattavasti haasteellisempi urakoitsijalle kuin Mäntän sähköasematyömaalla.

#### 4.6.2 Kaapelireitit

Sähköaseman pääkaapelireitit rakennetaan pääreittien varteen kenttien mukaisesti huomioiden mahdolliset laajennustarpeet tulevaisuudessa. Kaapelireitit rakennetaan yleensä kaapelikanavilla, mutta joissakin tilanteissa voidaan käyttää myös putkituksia. Kaapelikanavat ovat roudalta suojattuja ja vettä läpäiseviä valuja, jotka voidaan valaa paikalla tai rakentaa valmiista elementeistä. Mikäli kanavat rakennetaan paikallisvaluina, täytyy niiden täyttää tilaajan betonivaluvaatimukset. Kanavat rakennetaan vettä läpäisevälle kerrokselle, jossa on salaojaputkitus. Kuvissa 25 ja 26 on Petäjävedellä ja Mäntän sähköasematyömailla käytetty matala kaapelikanavatyyppi kolmella kaapelilokerolla, joista kahdessa kulkee ohjauskaapeleita ja yhdessä voimakaapeleita. Kojeille tulevat kaapelit viedään kuvassa 25 näkyvissä keltaisissa PVC -putkissa, jotka ovat vähintään 60 cm:n syvyydessä lopullisesta tasosta.



Kuva 25. Kaapelireitti Petäjäveden kytkinkentällä (Empower PN Oy)



Kuva 26. Kaapelikanava Mäntän sähköasemalla (Empower PN Oy)

Kuvassa 26 näkyy risteämäkohtaan asennetut hyllyt, joilla risteämä saadaan pysymään siistinä ja kaapeleiden kulkusuunnat voidaan määrittää helposti. Kaapelikanavat on peitetty kuvassa näkyvillä painekyllästetyillä puilla rakennetuilla levyillä, jotka toimivat samalla kulkureittinä kentällä.

#### 4.7 Asennustyöt

Seuraavat luvut käsittelevät sähköasematyömaalla tapahtuvaa ”fyysistä” asentamista, joka on toteutettu valmistajan asennusohjeiden sekä Fingridin ”hyvät asennustavat 2013” -oppaan mukaan.

##### 4.7.1 Perustustyöt ja maadoitusverkko

Maanrakennustöiden alettua rakennetaan myös ensimmäiset perustukset sähköaseman teräsrakenteille. Suurien rakenteiden perustukset, kuten muuntaja- ja 400 kV kentän perustukset rakennetaan routarajan alle. 110 kV kentän perustuksissa voidaan käyttää myös routarajan päälle asennettavia perustuksia, mikäli tilaaja hyväksyy ne. Perustuksien tulee täyttää tilaajan esittämät vaatimukset niin



materiaaliltaan kuin toteutustavaltaan (SFS-EN 1997-1). (Empower PN Oy, sisäinen projektimateriaali).



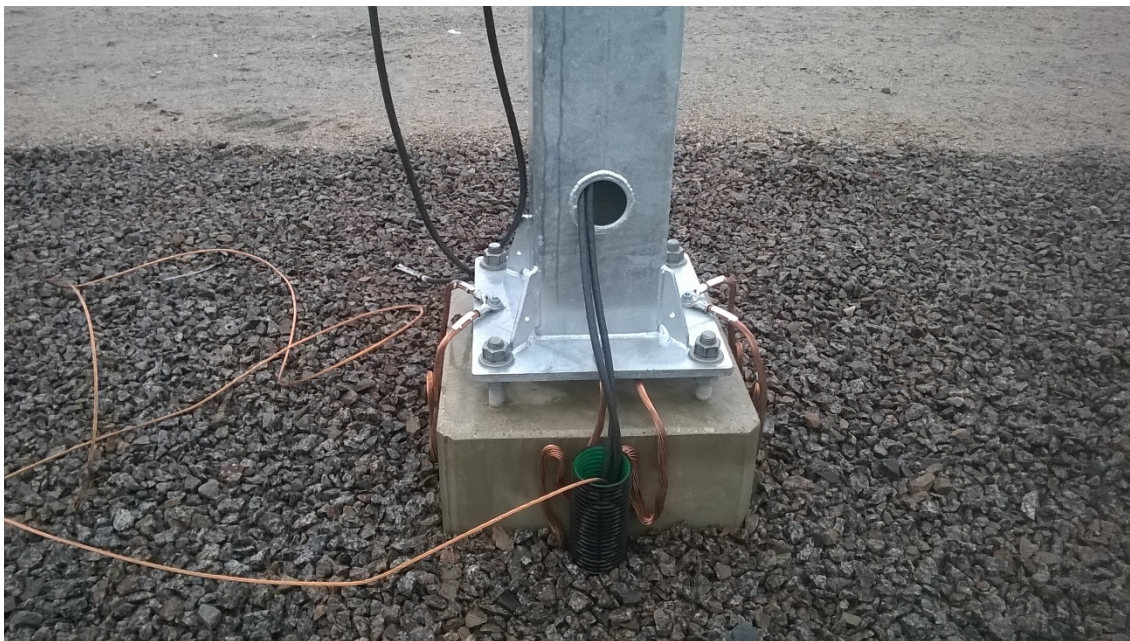
Kuva 27. Routarajan alle tulevia perustuksia. (Empower PN Oy)

Kuvassa 27 näkyvien isojen portaaliperustuksien tulee kestää mekaanisen rasituksen lisäksi myös aseman mitoitusoikosulkuvirtoja. SFS -käsikirja 601 kappale 4 määrittää mekaanisia vaatimuksia, jotka on huomioitava perustuksien ja niihin liitettävien laitteiden mitoittamisessa. Huomioitavia asioita on esimerkiksi:

- omapaino
- vetokuorma
- asennuskuorma
- jää- ja tuulikuormat
- kytkentä- ja oikosulkukuormat
- johtimen katkeaminen
- seismiset kuormitukset (värähtely, maanjäristys). (SFS 601, 38)

Sähköaseman alueelle, perustuksien ympärille rakennetaan maadoitusverkko ”perusmaadoitus”, jonka tarkoituksena on tasata potentiaalierot (kosketus- ja askeljännite), pienentää maadoituksen aaltoimpedansseja ja pienentää maadoitusimpedanssia sähköaseman alueella. Kaikki metallirungot ovat yhdistetty maadoitusruudukkoon: aidat, perustusraudat, teräsrakenteet, seurantamaat ja lisäpotentiaalimaadoitukset.

Fingridin ohjemateriaaleissa määritetään 400 kV jännitetason ruudukon kooksi enintään 20 x 20 m maadoituksen kuparin poikkipinnan ollessa 95 mm<sup>2</sup> ja 110 kV vastaavat mitat 10 x 10 m ja kuparin poikkipinta-ala 25 mm<sup>2</sup>. Maadoitusverkko asennetaan vähintään 0.7 m syvyyteen maanpinnasta. Usein pelkällä maadoitusverkolla ei saada riittävän pientä maadoitusimpedanssia aikaan, jolloin joudutaan vetämään lisämaadoituselektrodeja esimerkiksi kaapelikaivantoihin. Kuparien liitokset tulee tehdä varmalla liitostavalla, jollainen on esimerkiksi kuparijuotos tai hydraulinen puristusliitos (C-liitin). Kaikkien liittimien tulee kestää samat sähköiset ja luonnon aiheuttamat kuormitukset kuin muutkin sähköaseman komponentit. (Empower PN Oy, sisäinen projektimateriaali)



Kuva 28. Teräsrakenteen maadoitus.

Kuvassa 28 on nähtävissä perustuksen ja kojeen teräsrakenteen maadoitus. Rakenne on yhdistetty maadoitusverkkoon tuplakupareilla, koska rakenteeseen asennetun kojeen pitää kestää järjestelmän oikosulkuvirrat. Putkesta tuleva 25 mm<sup>2</sup> kupari on kaapeleiden seurantamaa ja 2 tulevaa 25 mm<sup>2</sup> ovat laiteryhmän kahden muun vaiheen rakenteiden yhdistävät kuparit. Kaikki perustukselle tuleville kupareille tehdään z-lenkki, joka estää kuparin venymisen jos maa elää ajan myötä. Joissakin tilanteissa voi olla tarpeellista vaihtaa maamassoja maadoitusverkon alueelta mahdollisen kuparikorroosion myötä.

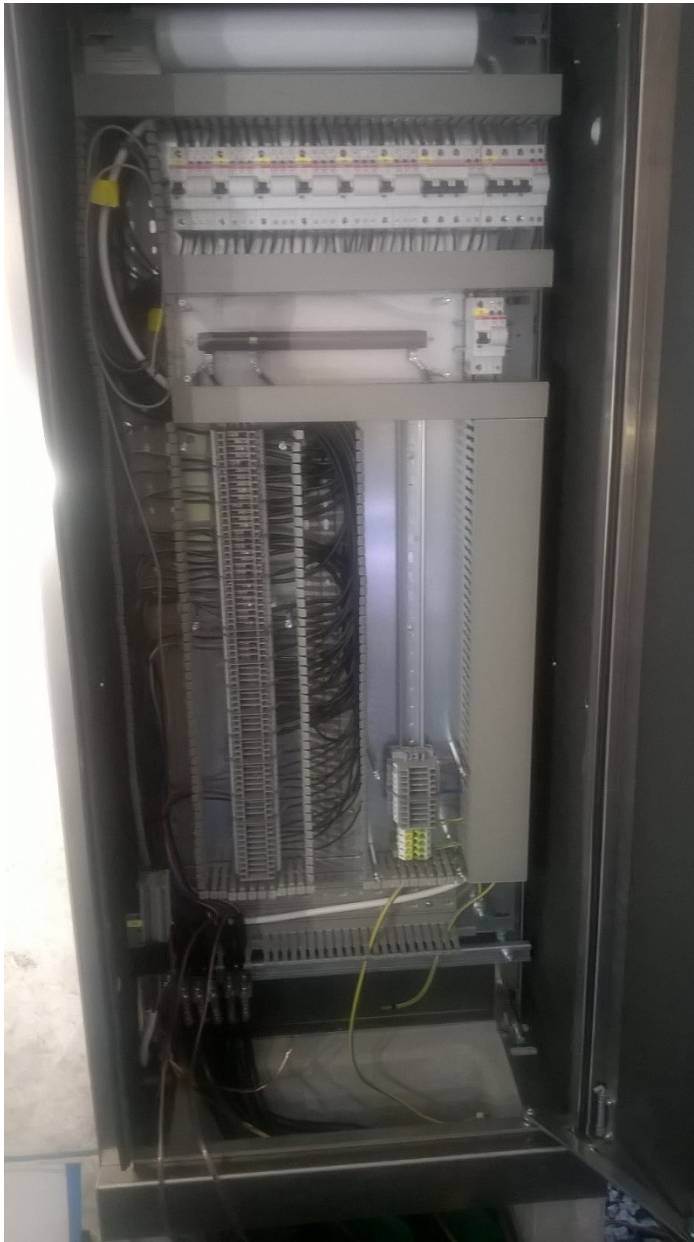
#### 4.7.2 Kaapelointi

Suurin osa sähköasemalla tapahtuvasta kaapeloinnista liittyy toisiopiiriin kaapelointiin. Kentältä tulevat kaapelit ovat EMC -suojattuja maakaapeleita ja asemarakennukset sisäiset kaapelit maakaapeleita ilman EMC-suojasta. Kaapelit päätetään siistiin järjestykseen keskuksen riviliittimille, käyttämättömät johtimet merkitään tilaajan vaatimalla tavalla ja taitetaan siististi keskuksen kouruihin. Merkinnot tulee tehdä (kuva 29) keskuksen sisälle varmallalla merkintätavalla esimerkiksi kuvassa näkyvin RST-merkinnöin. Kuvassa kaapelit on niputettu riviliittimille tulevan järjestyksen mukaan, jolloin ne saadaan mitoitettua oikean pituisena ja järjestyksessä keskuksen riviliittimille. Keskuksen läpivienti tulee toteuttaa siten, että keskuksen kotelointiluokka ei huonone ja vedonpoisto on luotettavasti kiinnitetty. Mikäli keskuksen kotelointi on metallinen, täytyy myös läpivientien olla metallisia, tai vaihtoehtoisesti Roxtec-läpivientejä.



Kuva 29. Läpiviennit sisäkeskukseen.

Kaapelit on päätettävä kutistesukalla, kuten kuvasta 29 voidaan nähdä. Mikäli johtimilla on parisuojauksia, ne kutistetaan erikseen omalla sukalla. Merkinnot on tehty suunnittelukuvissa näkyvien numerointien mukaan. Kaapeleiden asennukset hyllyihin tehdään siististi poolattuna ja sidottuna.



Kuva 30. Kaapelien päättämistä ulkokeskukseen.

Kuvassa 30 on esitetty ulkokeskuksen sisältö. Kaapelit järjestellään vedonpoistorimaan samassa järjestyksessä kuin missä ne asennetaan riviliittimille (ylhäältä alaspäin). Asennettavat johtimet mitoitetaan siten, että ne saadaan siististi riviliittimille. Käyttämättömiä johtimia ei katkaista vaan ne merkataan ja niputetaan siististi johtokouruun.

#### 4.7.3 Rele- ja jakokaapit

Rele- ja jakokaappien toimituksien haasteet alkavat jo suunnitteluvaiheessa. Suurimmat virheet rele- ja jakokaappien ”asennustyöstä” tapahtuvat jo suunnitelupöydällä:

- väärin suunniteltu fyysinen mitoitus suhteessa kaapeleiden, riviliittimien ja laitteiden määrään nähden
- alimitoitettut johtokourut kaapeleille ja niiden johtimille
- huonosti ja epäkäytännöllisesti toteutettu kokesijoittelu keskukseen.
- alimitoitettu kaapeleiden ja johtimien kiinnityspaikkojen määrä
- alimitoitettu maadoitusliittimien määrä
- tehty huolimaton suunnittelu esimerkiksi johtimet väärällä puolella liitintä jne. (Fingrid, hyvät asennustavat)

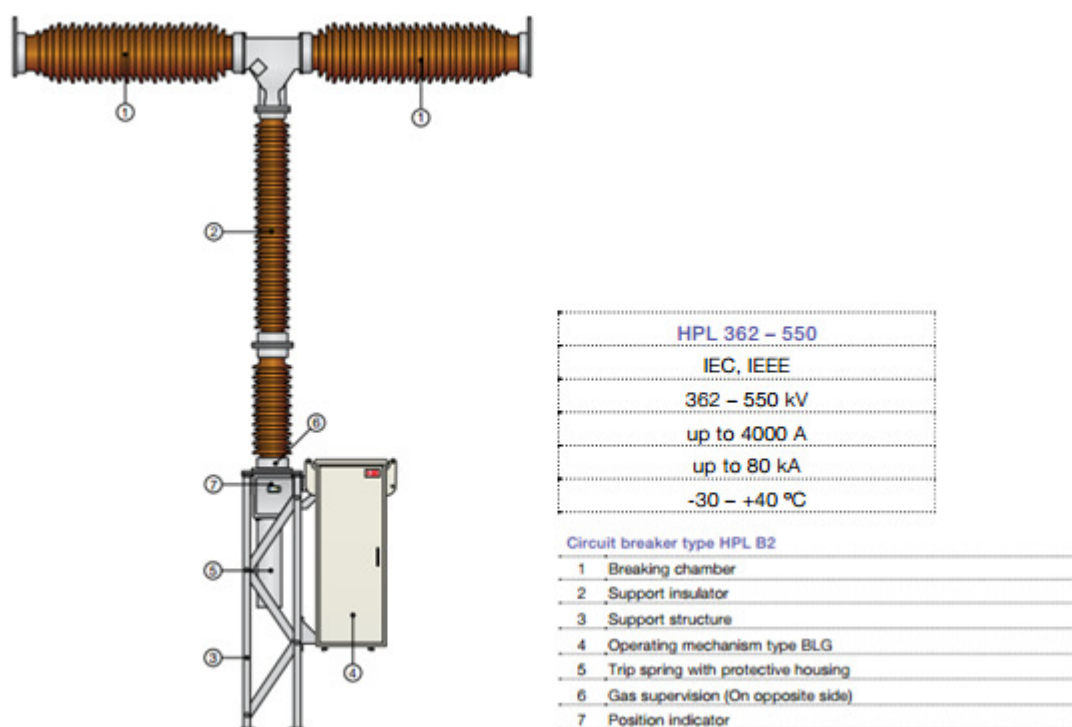
Huono suunnittelu tai liika säästäminen johtaa yleensä huonoon asennusjälkeen. Kaapit tulee suunnitella siten, että niissä on vähintään 10 % laajennusvara. . (Fingrid, hyvät asennustavat)

Teknisessä mielessä rele- ja kytkentäkaappien tulee soveltua siihen paikkaan mihin ne on tarkoitus asentaa (IP -luokituksien on oltava ulkona vähintään IP34 ja sisällä IP20). Rele- ja jakokaappien sekä niihin kytkettävät kojeiden, riviliittimien, kytkimien tai painikkeiden sekä muiden oheislaitteiden tulee olla CE-merkittyjä. (Fingrid, hyvät asennustavat)

Kaappien asentamisessa tulee noudattaa Fingridin ohjeistuksia, jotka ottavat kantaa mm. kaapin sijaintiin, oven aukeamiseen, jäähdytykseen/lämmitykseen, kalustukseen ja niiden sijoitteluun kaapeissa, kaapeleiden läpivienteihin ja päättämiseen (kappale 4.7.1), merkintöihin ja dokumentointeihin. (Fingrid, hyvät asennustavat)

#### 4.7.4 Kojetelineet ja kojeasennukset

Tässä luvussa käsitellään ABB:n erottavan HPL -katkaisijan ja sen BGL-ohjaimen asentamista. Kuviossa 20 on esitelty asennettavan katkaisijan tärkeimmät rakenneosat ja katkaisijan sähköiset ominaisuudet.



Kuvio 20. HPL – sarjan 400 kV soveltuva erottava katkaisija. (ABB.com)

Kuvion 20 katkaisijan mallinumero määräytyy katkaisijan nimellisjännitteestä.

Katkaisijan sähköiset ominaisuudet ovat:

- jännitealue 362 – 550 kV
- nimellisvirta  $\leq 4000$  A
- oikosulkukatkaisukyky  $\leq 80$  kA
- toimintalämpötila-alue -30 – + 40 °C.

ABB toimittaa katkaisijan komponentit kokonaisuudessaan – teräsrakenne asennusreiät valmiina.

Asentaminen aloitetaan teräsrakenteen nostamisella perustuksen ja sen M30 – ankkuripulttien päälle. Ennen teräsrakenteen laskemista, ankkuripultteihin on

pyöritelty mutterit ja aluslevyt, joilla saadaan teräs rakenne suoraan ja katkaisijan lopullinen korkeus voidaan määrittää. Asennussuunta tulee myös varmistaa, koska ohjainyksikkö voidaan asentaa vain yhteen sivuun teräsrakennetta. Teräsrakenteen laskemisen jälkeen varmistetaan, että rakenne on suorassa ja tarvittaessa suoritetaan teräsrakenne ankkuripulttien alaosan muttereilla. Kuvassa 31 teräsrakenne on saatu asennettua suoraan ja se odottaa katkaisijan ohjainyksikön asentamista. Betoniin valetut ankkuripultit näkyvät teräskehikon alareunassa.



Kuva 31. Katkaisijan teräsrakenne odottamassa ohjainyksikön asentamista.

Petäjäveden 400 kV kentällä katkaisijat tulevat molemmin puolin portaalia (duplex), joten toiselle puolelle portaalia teline tulee asentaa peilikuvana. Ennen kuin



katkaisijakoneisto voidaan asentaa telineen päälle, tulee pultit kiristää riittäväällä momentilla, jonka ohjearvo löytyy katkaisijan asennusohjeista. Jokaisen vaiheen komponentit katkaisijassa on merkattu erikseen (A, B ja C – jokainen vaihe erikseen) ja on äärimmäisen tärkeää että ne eivät mene sekaisin. Ennen kasaamista, on varmistettava sarjanumeron perusteella katkaisijan komponenttien vaihejärjestyksen oikeellisuus.



Kuva 32. Katkaisijakoneiston ja siihen kuuluvan eristimen nostaminen.

Kuvassa 32 nostetaan katkaisijakoneistoa ja sen eristintä siirtolaatikostaan. Nostot tulee toteuttaa asennusohjeissa annettujen ohjeiden mukaan. Kuvassa nosto tapahtuu eristimen pään metallikehikosta kahta nostoliinaa käyttäen. Katkaisijan kuoren tiiveys on tarkistettava ennen katkaisijakoneiston asentamista. Tehtaalla katkaisijan sisälle on tehty tyhjiö, joka poistetaan ennen katkaisijan nostamista. Tyhjiö poistuu kun katkaisijan täyttöventtiiliä avataan. Tällä operaatiolla varmistetaan, että katkaisijan ulkokuori ei vuoda ja SF6 -kaasu ei vapaudu täytön aikana. Koneisto nostetaan telineen päälle ja kiinnitetään teräsrakenteen kulmiin asennusohjeen määräämällä momentilla. Kuvassa 33 näkyy katkaisijapohja asennettuna, jonka lisäksi katkaisija ohjain (musta nuoli) on nostettu paikalleen. Kuvassa näkyy myös katkaisijan SF6 -kaasun täyttöventtiili (punainen nuoli), jonka kautta katkaisijan tyhjiö poistetaan ja varmistetaan, että katkaisija on tiivis.



Kuva 33. Ohjainyksikkö ja katkaisijakoneisto asennettuna.

Ohjainyksikkö sisältää kaiken mekanismin, joilla katkaisijaa ohjataan: fyysiset lukitukset, auki/kiinni mekanismin, moottorit, viritysjousen, katkaisulaskurin, manuaaliohjauksen ja tilaosoittimet. Katkaisijaryhmän keskimmäiseen vaiheeseen B asennetaan edellä mainittujen lisäksi katkaisijoiden ohjauskeskus, johon kaapeloitaan kaikki ohjauskaapelit asemarakennuksesta ja muilta katkaisijaryhmän katkaisijoilta. Ohjauskeskus sisältää katkaisijan sähköiset lukitukset ja hälytykset.



Kuva 34. Katkaisijayksikön ja koronarenkaan asentaminen.

Kuvassa 34 ollaan asentamassa katkaisukammioita, joissa virran katkaisu ja sammutus itsessään tapahtuu. Tämän vaiheen jälkeen katkaisijaan voidaan pumpata SF6 -kaasu ja varmistaa että katkaisija on tiivis.

#### 4.8 FAT/SAT Testit

FAT ja SAT ovat olennainen osa sähköasemalla olevien laitteistojen testauksista. FAT -testit suoritetaan yleensä tehtaalla valmistajan toimesta, mutta tarvittaessa asiakas voi tulla seuraamaan tehdastestauksia. Testauksen tarkoituksena on varmistaa, että ohjelmistot ja laitteet täyttävät niille annetut vaatimukset. Testauksissa tehdään mittaukset, käydään läpi olennaiset toiminnot ja varmistetaan, että laite on valmis toimitettavaksi asiakkaalle. Testauksien lopputuloksena saadaan pöytäkirjat, jotka asiakas saa toimituksen yhteydessä tai viimeistään ennen asiakkaan käyttöympäristössä tehtäviä SAT-testejä. Fyysiselle laitteistolle tehtävät testit ovat esimerkiksi: eristysresistanssit, toiminta- ja käyttökokeet ja mekaaninen kestävyys.

Joissakin tilanteissa FAT -testaukset joudutaan tekemään laitteen asennuspai-  
kassa. Esimerkiksi releen FAT -testaukset voidaan tehdä asiakkaan luona, koska on tärkeää, että releessä on asiakkaan haluamat relesetukset (suoja-asetuksien koestus), joille ajetaan FAT -ohjelmiston mukaiset testaukset. 400 kV suojareleen FAT -testeihin kuuluu Empowerilla seuraavat toimenpiteet:

1. relekaapin aistinvarainen tarkastus
2. kisko- ja katkaisija vikasuojien testaaminen
3. kiskovikasuojan toimintojen testaaminen
4. katkasijan vikasuojan toimintojen testaaminen
5. hälytyksien ja merkinantojen toiminta
6. muut testit
7. alustavat SAT -testit
8. kaapin ja sen laitteistojen merkinnät. (Empower sisäinen materiaali)

SAT -testaukset (käyttöönottotestaukset) ovat asiakkaan luona laitteen toimintaympäristössä tehtäviä testauksia. SAT -testauksiin kuuluu koko se ympäristö, jossa laitteet toimivat. Testauksen tarkoituksena on varmistaa, että ohjelmisto tai laitteisto soveltuu asennettavaan ympäristöön ja toimii suunnitellulla tavalla. SAT

-testauksien myötä laitteistot tai ohjelmistot otetaan käyttöön ja luovutetaan asiakkaalle.

## 5 POHDINTA

Tätä työtä aloittaessani huomasin, että sähköasemarakentamiseen liittyvää painettua materiaalia ei juurikaan ollut saatavilla. Suuri kiitos saadusta painetusta materiaalista kuuluu ohjaavalle opettajalleni DI Jaakko Etolle. Internetistä löydetty materiaali painottui vain johonkin sähköaseman osaa ja tuolloinkin yleensä vain teknisessä mielessä. Riippumatta vähäisistä lähteistä, sain kuitenkin omasta mielestäni koottua kattavan ”vain” yleisellä tasolla rakentamista kuvaavan käytännön osuuden työhöni. Lähdemateriaaleina käytin toimeksiantajan sisäisiä projektimateriaaleja, haastatteluja ja omaa kokemustani sähköasematyömaalla. Työmaalla käyntejä kertyi yhteensä kaksi arkiviikkoa, joten kovin perusteellista kuvausta sähköasemarakentamisesta ei voinut tehdä. Kyseisen kahden viikon aikana kerkesin kuitenkin tutustua tärkeisiin rakentamisen osa-alueisiin, kuten maanrakentamiseen, kaapelointiin, kaapeleiden päättelemiseen keskuksiin ja kojelaine- sekä kojeasennuksiin kytkinkentällä.

Työn tavoitteena oli tutustua sähköasemarakentamisen eri vaiheisiin ja sitä kautta tehdä työmaatoimintojen kartoitus toimeksiantajalle. Kartoitus on opinnäytetyön valmistuessa vielä käynnissä, mutta tämän työn puitteissa saatu näkemys sähköaseman eri rakenneosiin, sähköasemalaitteisiin ja itse rakentamiseen, on ollut omalta osaltani monipuolinen. Uskoisin myös että tämä opinnäytetyö antaa hyvän yleiskuvan sähköasemista ja niiden rakentamisesta vaikka sisältöä lukisi asiasta ennestään mitään tietävä henkilö.

Suurin hyöty tästä työstä on tietysti minulle itselleni ja sen myötä myös työnantajalleni – tämän ”perehdyttämisen” myötä olen hyödynnettävä lisäresurssi sähköasemaprojekteihin. Sähköasemien projektitoimintoja kartoitetaan lisää kevään aikana, jolloin saadaan toteutettua kattava toimenkuvien ja työn sisällön ohjeistus tulevia sähköasemaprojekteja varten.

## LÄHTEET

ABB 2000-07. TTT-käsikirja. Viitattu 25.12.2015 <http://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/>

ABB.com. ABB:n julkinen esitemateriaali. Viitattu 5.2.2016 <https://library.e.abb.com/public/433e1e613e67d06ec1257d0400307817/Buyers%20Guide%20HV%20Live%20Tank%20Circuit%20Breakers%20Ed%206en.pdf>

Aura, L. & Tonteri, A.J. 1986. Sähkömiehen käsikirja 2. WSOY

Aura, L. & Tonteri, A.J. 1993. Sähkölaitostekniikka. WSOY

Elovaara, J. & Haarla, L. 2011. Sähköverkot II: Verkon suunnittelu, järjestelmät ja laitteet. OTATIETO

Elovaara, J. & Laiho, Y. 2007. Sähkölaitostekniikan perusteet. OTATIETO

Empower PN Oy, Sisäinen materiaali

Fingrid 2013. Hyvät asennustavat 2013. Sisäinen ohjemateriaali

Fingrid 2015. Suomen kantaverkkoyhtiö. Viitattu 25.12.2015 <http://www.fingrid.fi/fi/Sivut/default.aspx>

Hakala, T. 2015. Empower PN Oy. Projekti-Insinöörin haastattelu 27.11.2015

Hautaniemi, O. 2014. Sähkönsiirtoon tarkoitettujen rakenteiden suunnittelu ja mitoitus. Tampereen teknillinen yliopisto. Diplomityö. Viitattu 31.12.2015 <http://dspace.cc.tut.fi/dpub/bitstream/handle/123456789/22364/Hautaniemi.pdf?sequence=1>

Karlos, A. & Martinsuo, M. & Kujala, J. 2006. Projektiliiketoiminta. 1. painos. Helsinki: WSOY Oppimateriaalit Oy

Korpinen, L. 2008. Sähkövoimatekniikkaopetus. Viitattu 26.12.2015 <http://www.leenakorpinen.fi/node/158>

KVM – lehti. Sähköasema valmistuu ensi kesänä 22.6.2015. Viitattu 27.1.2016 <http://www.kmvlehti.fi/Uutiset/1194987265576/artikkeli/sahkoasema+valmistuu+ensi+kesana.html>

Lehtinen, R. Päätoteuttajan turvallisuusvelvollisuudet rakennushankkeissa. Rakennustieto. Viitattu 26.1.2016 <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK020501.pdf>

Määttä, J. 2013. Suuria Seisovia Pylväitä. Viitattu 28.12.2015  
<http://calm.iki.fi/tolpat/kuvat?kaikki=1>

Mörsky, J. 1992. Relesuojaustekniikka, OTATIETO

Nikkari, J. Uusi elämä muuntajalle, ABB-julkaisu 03/2009. Viitattu 28.12.2015  
<http://www.abb.fi/cawp/seitp202/7fa9718a0acd575bc12576ef004982ec.aspx>

Ojavalli, P. 2011 Relekoestuksissa käytettävä kytkinlaitesimulaattori. Tampereen teknillinen yliopisto. Diplomityö. Viitattu 3.1.2016 [https://webhotel2.tut.fi/units/set/opetus/pdf%20julkiset%20dtyot/Ojavalli\\_Paavo\\_julk.pdf](https://webhotel2.tut.fi/units/set/opetus/pdf%20julkiset%20dtyot/Ojavalli_Paavo_julk.pdf)

Projektinhallintakurssi 2006. Helsinki: Helsingin Yliopisto. Viitattu 6.2.2016  
<http://www.ling.helsinki.fi/kit/2006k/clt310pro/suunnittelu/resurssit.shtml>

Salonen, T. 2015. Empower PN Oy. Työmaapäällikön haastattelu 10.11.2015

SFS-käsikirja 601, 2015. Suurjännitesähköasennukset ja ilmajohdot. SFS

Seppälä, M. Yleistä tietoa sähköasemista. Kurssimateriaali S-18 3141. Helsinki: Aalto yliopisto 2001-2003.

Siivonen, K. 2007, Sähköaseman apusähköjärjestelmät. Tampereen ammattikorkeakoulu. Tutkintotyö. Viitattu 3.1.2016 <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/9834/Siivonen.Kalle.pdf?sequence=2>

Sjövall, K. & Findell, M. 2009. Instrument Transformers Application Guide Ed3. LUDVIKA, Sweden.

Tukes 2015. Hengenvaara –esite. Viitattu 19.1.2016 [http://www.tukes.fi/Tiedostot/sahko\\_ja\\_hissit/Hengenvaara\\_esite.pdf](http://www.tukes.fi/Tiedostot/sahko_ja_hissit/Hengenvaara_esite.pdf)

Vero.fi 2016. Pää toteuttajan ilmoitukset rakennustyömaalla. Veroviranomainen. Viitattu 26.1.2016 [https://www.vero.fi/fi-FI/Syventavat\\_veroohjeet/Usein\\_kysytya/Rakentamisilmoitukset\\_tyontekijatiedot\\_\\_\(33193\)#Toimin\\_rakennustyomaan](https://www.vero.fi/fi-FI/Syventavat_veroohjeet/Usein_kysytya/Rakentamisilmoitukset_tyontekijatiedot__(33193)#Toimin_rakennustyomaan)



## LIITTEET

Liite 1. Työmaatoimintojen kartoittaminen (Luottamuksellinen)