



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Patrik Lindholm

Esteriöljyeristeisen muuntajan infra kantaverkon kaupunkisähköasemissa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (YAMK)

Älykäs teollisuus

Insinöörityö

2.6.2022

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Patrik Lindholm Esteriöljyeristeisen muuntajan infra kantaverkon kaupunkisähköasemissa 46 sivua+5 liitettä 2.6.2022
Tutkinto	insinööri (YAMK)
Tutkinto-ohjelma	Älykäs Teollisuus
Ammatillinen pääaine	Sähkövoimatekniikka
Ohjaajat	Yliopettaja Jarno Varteva Vanhempi asiantuntija Timo Ojanen
<p>Tässä opinnäytetyössä olen tutkinut esteriöljyeristeisen muuntajan käyttöä 400 kV kaupunkisähköasemilla. Työ on tehty osana laajempaa Helsinki 400 kV kaapelihanketta, joka on Fingridin ja Helen sähköverkon yhteishanke. Helsingin kaapeli on ensimmäinen 400 kV kaapeliyhteys Suomessa ja se tullaan rakentamaan Länsisalmen ja Vanhankaupungin sähköasemien välille. Keskityn tässä työssä Vanhankaupungin päähän ja sinne rakentuvasta uudesta sähköasemasta, mutta käsittelen lyhyesti myös Länsisalmen osuutta.</p> <p>Esteriöljyeristeinen muuntaja on täysin uutta tekniikkaa Suomen olosuhteissa ja se tuo mukanaan paljon uusia mahdollisuuksia kaupunkiympäristöön rakentuville sähköasemille, mutta toisaalta se tuo myös paljon haasteita suunnittelun ja toteuttamisen sarjoilla. Olen tässä työssä selvittänyt, mitä erilaisia ratkaisuja voidaan tehdä, jotta saadaan aikaiseksi toimiva kaupunkisähköasema ja miten se on järkevämmän liitettävissä ympäröivään sähköverkkoon.</p> <p>Käsittelen myös työssäni perinteisen mineraaliöljyn ja esteriöljyn ominaisuuksia sekä niiden välisiä eroja. Käyn myös läpi 400 kV tehomuuntajan rakennetta ja toimintaa sekä esteriöljyeristeisen muuntajan erityispiirteitä verrattuna mineraaliöljyeristeiseen.</p>	
Avainsanat	Esteriöljy, verkkomuuntaja, kaupunkisähköasema

Author Title	Patrik Lindholm Ester oil-insulated transformer infrastructure in urban substations
Number of Pages Date	46 pages + 5 appendices 2 June 2022
Degree	Master of Engineering
Degree Programme	Intelligent Industrial Solutions
Professional Major	Power Engineering
Instructors	Head lecturer Jarno Varteva Senior expert Timo Ojanen
<p>In this thesis, I have investigated the use of ester oil insulated transformers in 400 kV:s urban substations. The work has been done as part of a larger Helsinki 400 kV cable project, which is a joint project between Fingrid and Helen Sähköverkko. The Helsinki Cable is the first 400 kV cable connection in Finland and will be built between Länsisalmi and Vanhankaupunki substations. In this work, I will focus on Vanhankaupunki substation, although I will also briefly discuss the Länsisalmi substation</p> <p>Ester oil insulated transformer is a completely new technology in Finnish conditions and although it brings a lot of new opportunities to substations being built in urban environments, it also brings a lot of challenges in the field of design and implementation. In this work, I have explored what different solutions can be made to achieve a functioning urban substation and how it can be connected to the surrounding power grid.</p> <p>I will also discuss the differences of traditional mineral oil and ester oil. I will also go through the structure and operation of the 400 kV power transformer, and the special features of the ester oil insulated transformer compared to the mineral oil insulated transformers.</p>	
Keywords	Ester oil, grid transformer, urban substation

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Fingrid yrityksenä	2
3	Suomen voimajärjestelmä ja kantaverkko	3
3.1	Voimajärjestelmä	3
3.2	Kantaverkko	4
4	HKI-400 hanke	5
4.1	Taustaa	5
4.2	400 kV kaapeli	5
4.3	Länsisalmen sähköaseman laajennus	6
4.4	Vanhankaupungin sähköasema	7
5	Sähköasema	7
5.1	Sähköaseman määrittely	7
5.2	Sähköaseman laitteet	9
5.2.1	Katkaisijat	9
5.3	Erottimet	10
5.4	Mittamuuntajat	11
5.5	Sähköasemien kiskojärjestely	11
5.6	AIS-kytkinlaitos	13
5.7	GIS-kytkinlaitos	14
5.8	Muuntaja-alue	15
5.8.1	Muuntajien tähtipistejärjestelmä	16
5.8.2	Ylijännitesuojaus	16
5.8.3	20 kV kytkinlaitos	17
5.8.4	Muuntajasuoja	17
6	Verkkomuuntajat	20

6.1	Verkkomuuntajan määrittely	20
6.2	Verkkomuuntajan rakenne	21
6.3	Muuntajan aktiiviosa	22
6.4	Suurjänniteläpiviennit	24
6.5	Paisuntasäiliö	26
6.6	Esteriöljyeristeinen muuntaja	26
6.7	Esteriöljyeristeinen yksivaihemuuntaja	27
7	Mineraali- ja esteriöljyjen vertailu	28
8	Muuntajan jäähdytysjärjestelmä	30
8.1	ONAN- ja ONAF-jäähdytys	31
8.2	ODAF-jäähdytys	32
8.3	ODWF-jäähdytys	33
9	Kaupunkisähköasema	35
9.1	Kaupunkisähköaseman erikoispiirteet	35
9.2	Vanhankaupungin sähköasema	36
9.3	Kaupunkiaseman muuntajasuoja	37
10	Muuntajan liittäminen verkkoon	39
10.1	110 kV liityntätapa	39
10.2	Kosketussuojatut kaapelit tähtipisteissä	40
10.3	GIL-putket	40
10.4	Kaupunkiaseman muuntajan ylijännitesuojaus	41
11	Johtopäätökset	42
	Lähteet	44

Liitteet:

Liite1, Helsingin Kaapelin yleiskaavio

Liite2, Vanhankaupungin sähköasema sijoituspiirustus

Liite3, Kaupunkiaseman muuntajabunkkerin leikkauspiirustus

Liite4, AIS-asema yksivaihemuuntajilla

Liite5, GIS-asema yksivaihemuuntajilla

Lyhenteet

GIS	Gas Insulated Switchgear, kaasueristeinen kytkinlaitos.
AIS	Air insulated Switchgear, ilmaeristeinen kytkinlaitos.
GIL	Gas insulated line, kaasueristeinen voimajohto
ONAN	Oil natural Air Natural, muuntajan jäähdytystapa
ONAF	Oil natural Air Forced, muuntajan jäähdytystapa
ODAF	Oil Directed Air Forced, muuntajan jäähdytystapa
ODWF	Oil Directed Water Forced, muuntajan jäähdytystapa
XLPE	Cross laminated Polyeteheene, kaaplein eristysaine

1 Johdanto

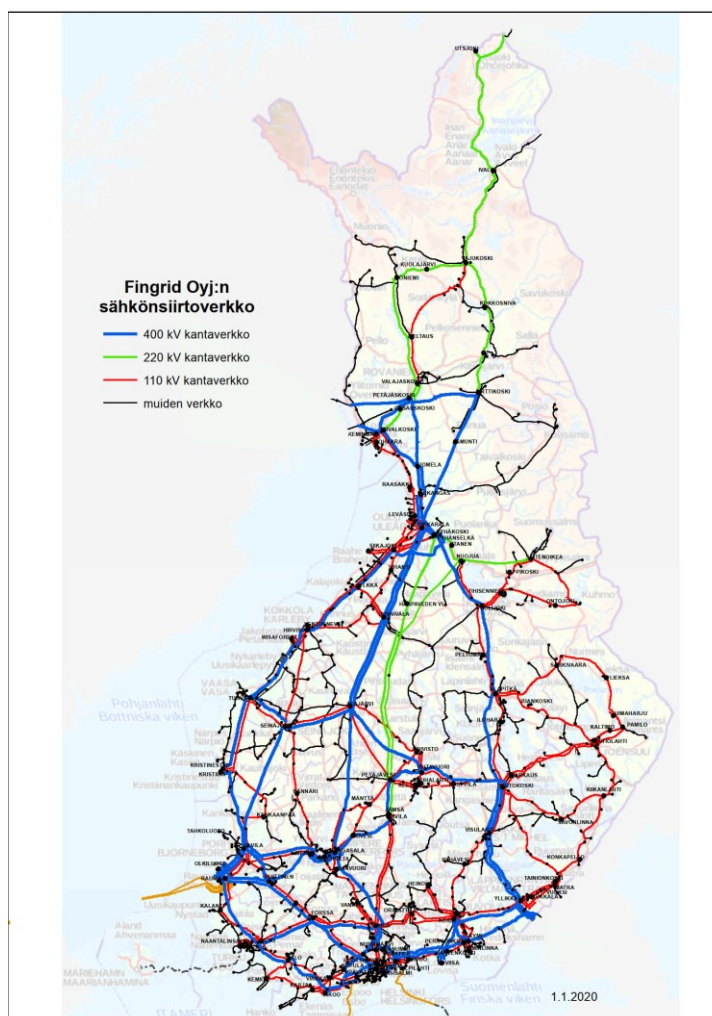
Tämän työn idea lähti siitä, kun ilmeni tarve rakentaa uusi kantaverkon muuntoasema Helsingin kantakaupungin laidalle Viikinmäkeen. Sain aseman sijoitus suunnittelun työpöydälleni samalla kun olin aloittanut Metropoliaassa opinnot ja olin miettimässä lopputyönaihetta. Tämä suunnitteluprojekti vaikutti mielenkiintoiselta koska, se oli aivan uusi aluevaltaus Suomen kantaverkolle. Yleensä Fingridin asemien sijainnit valitaan niin, että ne ovat niin kaukana asutuksesta, kuin on mahdollista. Tämä on ensimmäinen 400 kV muuntoasema Helsingissä ja Kehä 1:sen sisällä. Se tuo aivan uusia haasteita aseman suunnitteluun ja rakentamiseen. Aseman sijainti asutuksen lähellä ja asemakaava-alueella tekee sen, että käytännössä se pitää sijoittaa kokonaan rakennukseen sisään, jotain joka on selaista mitä ei Fingridillä ole ennen tehty. Se johtaa myös siihen, että käytännössä ollaan menemässä esteriöljyeristeisten muuntajien käyttöön. Näiden käyttöä on jo tukittu Fingridillä ja käyttöönotto on todettu mahdolliseksi. Lopputyöni on jatkoa näille aikaisimmille tutkimuksille. Esteriöljymuuntaja tuo paljon uusia mahdollisuuksia ja haasteita asemasuunnitteluun. Koska muut laitteet ovat jo käytössä kantaverkossa olen rajannut työn muuntajan infrastruktuuriin.

Tämä työ on toteutettu toimintatutkimuksena suunnittelutyön ohessa, olen myös käyttänyt alan kirjallisuutta ja tieteellisiä tutkimuksia sekä valmistajien verkkosivuja. Lisäksi olen myös haastatellut Fingridin asiantuntijoita ja hyödyntänyt paljon Fingridin sisäisiä spesifikaatioita ja ohjeita lähteinä.

2 Fingrid yrityksenä

Fingrid on Suomen Kantaverkkoyhtiö, joka aloitti toimintansa 1. syyskuuta 1997. Yhtiön päätavoitteena on omistaa, ylläpitää ja rakentaa Suomen kantaverkkoa. Fingridillä on myös suomen voimajärjestelmän ylläpitovastuu.

Yhtiön omistuksessa on 14400 km 110 kV:n, 220 kV:n, ja 400 kV:n johtoja, sekä 130 sähköasemaa, joista noin puolet on muuntoasemia. Vuonna 2020 kulki 80,9 TWh sähköä Fingridin verkon kautta kuluttajille. [9]



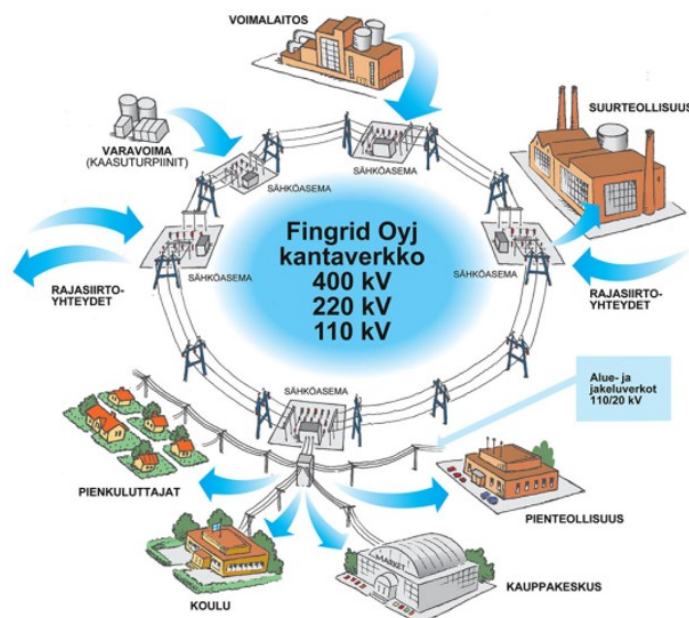
Kuva 1. Suomen suurjänniteverkko [9]

3 Suomen voimajärjestelmä ja kantaverkko

3.1 Voimajärjestelmä

Suomen voimajärjestelmän runko on kantaverkko, joka siirtää tehoa voimalaitoksista sähkön kuluttajille. Kantaverkon lisäksi Suomen voimajärjestelmä koostuu alue- ja jakeluverkoista, voimalaitoksista sekä verkkoihin liitetyistä kuluttajista. Suomen voimajärjestelmä on osa pohjoismaista sähköjärjestelmää. Se on synkronoitu Norjan, Ruotsin ja Tanskan järjestelmien kanssa. Lisäksi voimajärjestelmä on yhteydessä Eestin ja Venäjän voimajärjestelmiin ei-synkronisten DC-linkkien kautta. [6 sivu 17]

Voimajärjestelmän mitoituksessa tärkein periaate on N-1 kriteeri. Se tarkoittaa sitä, että sähköjärjestelmän pitää kestää minkä tahansa komponentista, voimajohtosta, muuntajasta, tai voimalaitoksen eroon kytkennästä ilman, että vika laajenisi ja verkossa tapahtuisi suurihäiriö tai että asiakkaiden sähkönsaanti vaarantuisi. [6 sivu 153]



Kuva 2. Suomen voimajärjestelmä [8]

3.2 Kantaverkko

Kantaverkko koostuu silmukoidusta 400 kV verkosta, joka on suomen pääsiirtoverkko ja niin ikään silmukoidusta 110 kV verkosta. Nämä verkot ovat yhteydessä toisiinsa muuntoasemilla 400/110 kV muuntajien kautta. Muuntoasemien lisäksi kantaverkossa on myös 400 kV ja 110 kV kytkinlaitoksia ilman muuntoa. Fingridin asemille liittyy myös jakeluverkot ja alueverkot 110 kV johdoilla. Lisäksi tietyt isot voimalaitokset ja yksittäiset kuluttajat liittyvät kantaverkkoon suoraan 400 kV johdoilla. Tulevaisuudessa suora liityntä 400 kV:iin tulee todennäköisesti lisääntymään tuulipuistojen lukumäärän voimakkaasta kasvamisesta. On paljon kustannustehokkaampaa liittää tuulipuistoja suoraan 400 kV verkkoon, kuin rakentaa muuntoasemia. Tuulivoimalat sijaitsevat myös usein vaikeakulkuisessa maastossa, mihin on vaikeaa ja kallista rakentaa muuntajakuljetusreittiä verkkomuuntajille. [6 sivu 19]

4 HKI-400 hanke

4.1 Taustaa

Helsingin 400 kV hanke on ainutlaatuinen hanke siinä mielessä, että se on ensimmäinen kaapelilla toteutettu 400 kV:n siirtoyhteys Suomessa. Tietävästi ai-noat 400 kV kaapelit ovat ennen tätä Länsisalmen sähköasemalla 400 kV GIS-laitoksen ja tehomuuntajien välillä. Kaapeli tullaan rakentamaan Länsisalmen sähköaseman ja Fingridin tulevan Vanhankaupungin sähköasema välillä, joka on suunnitteilla HSV:n (Helsingin Sähköverkko) Viikinmäen sähköaseman viereen. Kaapelin tarve syntyy siitä, että Helsingissä luovutaan hiilen käytöstä vuonna 2023. Käytännössä tämä tarkoittaa ainakin Hanasaaren ja mahdollisesti Salmisaaren voimalaitosten sulkemista. Helsingin bulevardihanke vaikuttaa hankkeen toteutumiseen, koska bulevardien valmistuessa tullaan ilmajohtoja siirtämään ja toteuttamaan maakaapeleilla. Nämä johtavat verkon heikentymiseen Helsingissä. HKI400-hankkeen erikoislaatuisuudesta johtuen se toteutetaan Fingridin ja HSV:n yhteishankkeena. [19][29]

4.2 400 kV kaapeli

Kaapeli toteutetaan 400 kV asennettavilla Cu2500mm² XLPE kaapeleilla. Aluksi toteutetaan yksi kaapeli. Lisäksi suunnitellaan ja jätetään tilavaraus toiselle kaapeliyhteydelle samalle reitille. Kaapeli yhteys toteutetaan kolmioasennuksena ja sen kuormitettavuus on 800MW, mikä on vähemmän kuin mitä tasoasennuksessa saavutettaisiin, mutta kolmioasennus on vähemmän tilaa vievä. Kaapelin reitti toteutetaan putkittamalla ja tietyin välimatkoin välillä rakennetaan kaapelinvetokaivoja. Putkittaminen vähentää reittien rakentamisaikoja ja tällä tavalla pienennetään ympäristölle aiheutuvaa haittaa. Kaapeli-veto voidaan tämän jälkeen tehdä kaapelikaivoista ilman, että avataan kadunrakenteita. Toinen kaapelireitti jää nyt varalle odottamaan, kun tarvitaan lisätehoja Vanhankaupunkiin. Kaapeli-järjestelmää on kuvattu yleiskaaviolla liitteessä 1. [19][29][33]



Kuva

Kuva 3. 400 kV kaapelin alustava reitti. [29]

4.3 Länsisalmen sähköaseman laajennus

Molempien HKI400 kaapeleiden lähtöpiste on Länsisalmen sähköasema Vantaalla. Sähköasemalla on nyt 400 kV GIS-laitos, jota syötetään 400 kV ilmajojoilla Tammiston ja Anttilan sähköasemilta. 400 kV GIS-laitos syöttää aseman tehomuuntajia, ja niistä menee 110 kV avojohdot viereisellä tontilla olevalle Vantaan Energian Vaaralan asemalle. Länsisalmen GIS-kojeisto on duplex-tyyppiä. Se laajennetaan uudella kentällä ensimmäistä HKI400 kaapelia varten. Kojeistoon rakennetaan myös puoliduplex kenttä asemalle asennettava 60MVAR:in 400 kV esteröljyeriteistä reaktoria varten. Reaktori asennetaan sähköaseman pihamaalle omaan bunkkeriin ja se syötetään kaapeleilla GIS-laitoksesta. Reaktorin kaapeli on kytketty oman katkaisijan kautta HKI-400 ensimmäisen kaapelin rinnalle. Näin pystytään kytkemään reaktoria kaapelin rinnalle jo ennen kuin

kaapelia kytketään jännitteiseksi Länsisalmen päästä. Ilman tätä toimenpidettä kaapelin tuottama kapasitanssi nostaisi jännitettä. Lisäksi 400 kV reaktoria voi myös irrottaa kaapelista, jos tulisi vastaan sellainen käyttötilanne, jossa jännitteet Länsisalmessa laskisivat. 400 kV:n reaktorin lisäksi asennetaan myös 20 kV esteröljyeristeinen 63MVAR:in reaktori Länsisalmen muuntajien tertiäärikäämiin, ja tehdään tilanvaraus toiselle reaktorille, tosien 400 kV kaapelin tullessa käyttöön. [3][33]

4.4 Vanhankaupungin sähköasema

Vanhankaupungin sähköasema tullaan rakentamaan HSV:n Viikinmäen 110 kV sähköaseman viereen, aluksi valmistuu kojeistorakennus ja muuntajasuoja, tilanvaraus on myös jätetty toiselle muuntajasuojalle ja 400 kV reaktorisuojalle. Kojeistorakennukseen sijoitetaan GIS-kojeisto, jossa on aluksi yksi kaapelikenttä ja yksi muuntajakenttä. Tilanvarausta on toiselle kaapelikentälle ja muuntajakentälle sekä puoliduplexkenttä 400 kV reaktorille. Kojeistorakennukseen tulevat myös tilat aseman ohjaus ja suojausjärjestelmille ja apusähköjärjestelmille. Asemaan jätetään myös tilaa ainakin kahdelle kaapelikentälle Tammistoon ja Sörnäisiin suuntaaville kaapeleille, jotka voivat olla tulossa toteutukseen 2030-luvun aikana. [32]

5 Sähköasema

5.1 Sähköaseman määrittely

Sähköasemalla tarkoitetaan sellaista paikkaa sähköverkossa, jossa tehdään kytkentöjä verkon tilanteeseen. Siellä voi myös muuntaa sähköä jännitetasosta toiseen. Sähköasemalla sijaitsevat myös suojaavat katkaisijat, jotka erottavat viallisen verkonosan. Sähköasemia on erilaisia. On olemassa kytkinlaitoksia, muunto ja jakeluasemia tai voimalaitoksien kytkinasemia. Kantaverkossa

voidaan karkeasti jakaa asemat kahteen ryhmään: muuntoasemiin ja kytkinasemiin. Muuntoasemista löytyvät 400 kV ja 110 kV kytkinlaitos ja niitä yhdistävä tehomuuntaja. Kytkinasemilla on puolestaan vain kytkinlaitos jommassakummassa jännitetasossa. Jos asemalla on muuntaja, löytyy usein myös 20 kV kytkinlaitos kompensointilaitteita varten. [1, s235] [2, s.76][15]

Fingridin kaikki kytkinlaitokset mitoitetaan kestämään 40/100 kA oikosulkuvirtoja. 400 kV asemilla maasulkuvirtojen mitoitus on 20 kA ja kenttien nimellisvirrat 3150 A. Kokoojakiskojen nimellisvirrat ovat suuruudeltaan 6000A. 110 kV kytkinlaitoksen nimellisvirta kentissä on 3150 A muuntaja- ja kiskokatkaisijakentissä ja 2000 A johtokentissä. Maasulkumitointusvirta on 6 kA. 20 kV kytkinlaitoksen mitointusvirta on muuntajakentissä 4000 A ja reaktorikentissä 2500 A, kiskojen mitointusvirta on 4000A [8]



Kuva 4. Kristinestadin muuntoasema a) 110 kV kytkinlaitos b) muuntajat suojiineen c) 400 kV kytkinlaitos d) valvomorakennus [27]

5.2 Sähköaseman laitteet

Sähköasema koostuu sähköaseman laitteista, erottimista katkaisijoista ja mittamuuntajista sekä virtateistä ja kokoojakiskoista. Siellä ovat myös verkon kompensointilaitteet, 20 kV tertiäärin reaktorit ja kondensaattorit. Sähköasemalla sijaitsee myös valvomorakennus, jossa on aseman laitteita ja johtoja suojaavat suojarileet sekä kauko ja paikallishjauslaitteet. Valvomossa on myös apusähkökeskukset sekä suojarileitä ja kytkinlaitteita syöttävät akustot. Kaikki Fingridin asemat suunnitellaan niin, että ne pysyvät käyttökuntoisena, vaikka olisivat 24h ilman ulkopuolista sähkönsyöttöä. Häiriön sattuessa, sähkönsyöttö varmistetaan kahdella akustolla ja siirrettävän varavoimakoneen liittynällä. 400 kV asemilla ja muuntoasemilla on 220 Vdc akustot, 110 kV kytkinlaitoksilla on 110 Vdc akustot. Kriittiset muuntoasemat ja muutoin tärkeät asemat ovat myös varustettuja kiinteällä varavoimakoneella.[8] [2, s76][15]

5.2.1 Katkaisijat

Katkaisijat ovat kytkinlaitteita, jotka pystyvät kytkemään ja katkaisemaan virtoja normaali käyttötilanteissa sekä myös vikatilanteissa. Katkaisijoihin kohdistuu suuri rasitus koska maasuluissa ja oikosuluissa vikavirta voi nousta kymmeneen kiloampeereihin. Fingridillä kaikki katkaisijat valitaan lähtökohtaisesti kestämiin ja katkaisemaan 40kA oikosulkuvirtoja. Katkaisijoita voidaan ohjata auki ja kiinni joko käsin käyttökeskuksesta, tai sähköaseman valvomon paikallishjauspisteestä, tai automaattisesti. Automaattinen auki-ohjaus tapahtuu erilaisten suojarileiden kautta vikaa havaittaessa. Automaattinen kiinniohjaus on yleisimmin jälleen-kytkentä releiden suorittama. Erilaiset kompensointilaitteita kuten kondensaattoreiden ja reaktoreiden katkaisijoita, ohjataan päälle ja pois jännitteensäätöautomaattikkojen kautta. Katkaisijan toiminta perustuu katkaisukammioon sijoitetuista pääkoskettimista, jotka katkaisevat ja kytkyvät virtaa. Katkaisu kammio on täytetty korkeapaineisella SF-6 kaasulla, joka toimii eristeenä ja sammuttaa katkaisussa syntyvän valokaaren. Aiemmin käytettiin myös ns. vähäöljykatkaisijoita, jossa oli mineraaliöljyä eristeaineena, mutta nämä ovat melkein jo

poistuneet kokonaan käytöstä Fingridillä. Myös paineilmakatkaisijoita käytettiin aikaisemmin, mutta ne ovat kokonaan poistuneet käytöstä. Fingridillä on myös käytössä erottavia katkaisijoita, joissa yhdistyvät erottimen ja katkaisijan toiminta. Erottavan katkaisijan avausväli on isompi kuin normaalikatkaisijan ja sen katsotaan muodostavan luotettava avausvälin niin, että voidaan tehdä töitä sen jännitteettömällä puolella, vaikka toisella puolella olisi täysi jännite. Tällainen työskentelytapa on kiellettyä normaalikatkaisijoilla. Erottavia katkaisijoita käytetään Fingridillä pääsääntöisesti duplex-asemilla yhdistettynä erotusväleihin. [2, s161-163] [8]

5.3 Erottimet

Erottimia käytetään luomaan turvallinen avausväli erotetun verkon osan ja muun verkon välillä ja tällä tavoin erottaa se turvallista työskentelyä varten. Erottimen avausväli pitää olla tarpeeksi iso, jotta se muodostaa riittävän jännitelujuuden jännitteisten ja jännitteettömien välillä. Avausvälin täytyy myös olla näkyvä tai luotettavasti havaittavissa asennonosoittimilla. Erottimella on yleensä molemmin tai toispuoleiset maadoituskytkimet, joilla saadaan aikaan luotettava maadoitus työskentelyä varten. Lisäksi on käytössä erillisiä maadoitusveitsiä kiskojen ja joihtojen maadoitusta varten. Erottimia käytetään myös verkon kytkentätilanteiden muuttamiseksi, esimerkiksi kuormien siirto kiskosta toiseen tehdään erottimilla. Erottimet eivät pysty kytkemään ja katkaisemaan virtoja. Tämän takia ne ovat sähköisesti lukittuja niin että niitä pystytään ohjaamaan vain, kun tietyt ehdot ovat täyttyneitä, näillä keinoilla estetään vahinko ohjauksia virrallisina. Kaikki erottimet Fingridin asemilla ovat nykyään moottoriohjattuja ja ne pystytään ohjaamaan joko käyttökeskuksesta tai valvomon paikallisohjauksesta. Erottimia on erilaisia tyyppisiä: vertikaalisesti ja, pystysuunnassa avautuvia sekä tartuntaerottimia. Erottimien lisäksi Fingridin asemilla käytetään myös erotusvälejä verkon osien erottamiseksi toisistaan. Nämä ovat virtaköysiä, jonka päissä on helposti avattavat pulttiliitokset. Köydet poistetaan kun verkon osa pitää saada jännitteettömäksi

ja näin saadaan aikaan erotusväli. Erotusvälien tärkein käyttökohte 400 kV duplex-asemilla erottavien katkaisijoiden kanssa. [8][2 s.190][15]

5.4 Mittamuuntajat

Mittamuuntajat jaetaan jännite ja virtamuuntajiin. On myös olemassa niin sanottuja kombi-mittamuuntajia, jotka pystyvät mittaamaan molempia suureita. Viimeksi mainittu ei ole käytössä Fingridin verkossa. Mittamuuntajien tehtävä on muuttaa ensiöpiirien jännitteet ja virrat alempaan tasoon, jotka voidaan käsitellä suoja-releissä ja mittareissa. Jännitemuuntajien toisiojännite on nykyään 110V, ja vastaavasti toisiovirta virtamuuntajilla on 1A. [2 s.198]

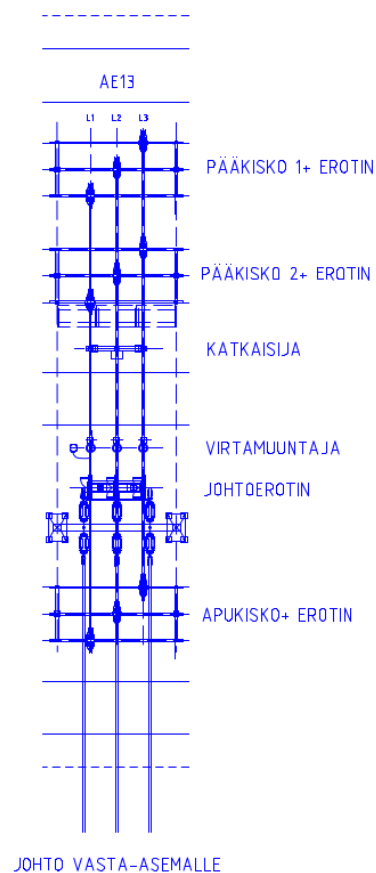


Kuva 5. Esimerkkejä erottimista, vasemmalla kiertoerotin ja oikealla vertikaalinen polvierotin. [8]

5.5 Sähköasemien kiskojärjestely

Sähköasemalaitteet ovat ryhmitelty kentittäin aseman kiskoon tai kiskoihin. Kentässä on yhden suojattavan verkonosan, esim. muuntajan, johdon tai

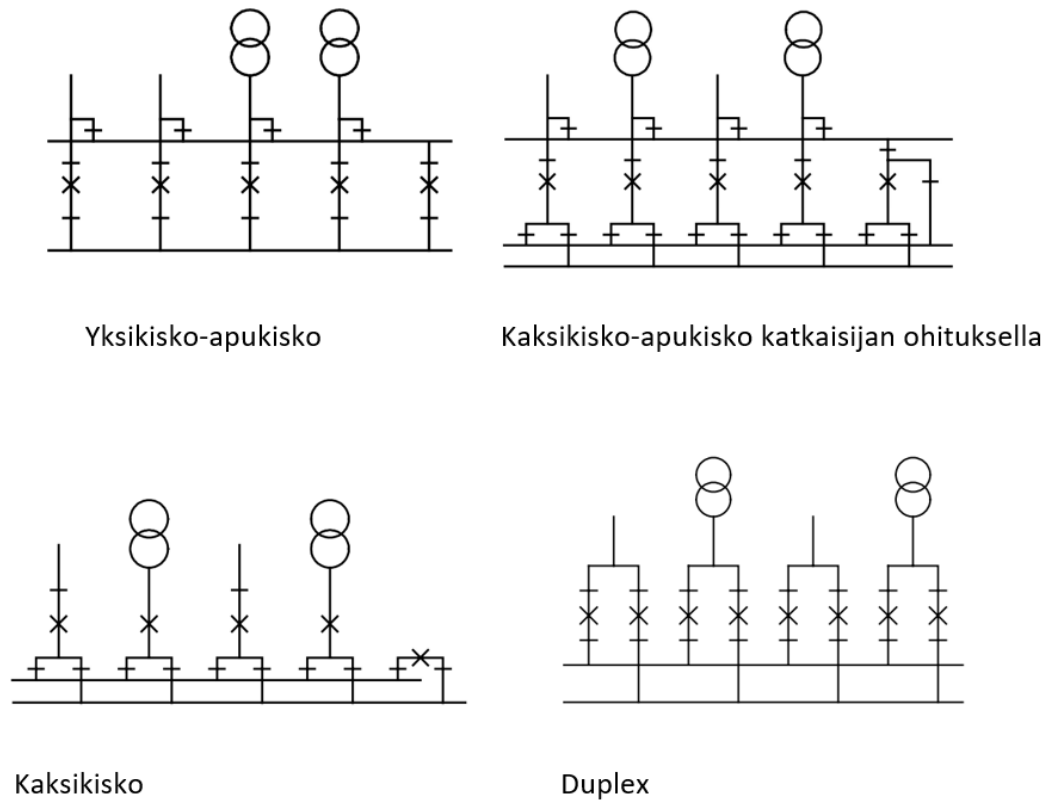
kondensaattorin, suojauksen, kytkennän muuttamiseen ja erottamiseen tarvittavat laitteet. Fingridissä on käytössä neljä erilaista kiskojärjestelmää: yksikiskojärjestelmä apukiskolla, kaksikiskojärjestelmä apukiskolla, kaksikisko järjestelmä sekä Duplex-kiskojärjestelmä. Kaksi ensimmäistä ovat käytössä 110 kV AIS-aseilla ja kaksoiskiskojärjestelmä 110 kV GIS-aseilla, Duplex-järjestelmä on puolestaan käytössä 400 kV sekä AIS että GIS-aseilla. Puhtaita yksikisko kytkinlaitoksia kiskoerottimilla tai ilman, ei enää rakenneta siirtoverkossa. Ne ovat käytössä muuntoasemien 20 kV tertiäärikiskostona millä syötetään 400 kV verkkoa kompensoivia reaktoreita ja Kondensaattoreita. [8][15]



Kuva 6. 110 kV AIS johtokenttä [28]

5.6 AIS-kytkinlaitos

Ilmaeristeinen AIS-kytkinlaitos on Fingridin oletusratkaisu, uusia sähköasemia rakentaessa. Tästä poiketaan vain hyvistä syistä esim. tilanpuutteen vuoksi. Kytinlaitosten normikonfigurointi on 400 kV puolella kaksikiskoinen tuplakatkaisija ns. Duplex-kytkinlaitos. 110 kV:lla on käytössä kaksi tai yksi-pääkisko kytkinlaitos apukiskolla ja kiskokatkaisijalla, myös muutama duplex-kytkinlaitos löytyy tällä jännitetasolla. [15]



Kuva 7. Yleisimmät kiskojärjestelmät muokattu lähteestä [14]

5.7 GIS-kytkinlaitos

Fingridillä on avokytkeinlaitoksien lisäksi käytössä myös kaasueristeisiä GIS-kytkinlaitoksia. Varsinkin 110 kV:lla ne ovat yleistyneet viime aikoina. Kaasueristeisen kytkinlaitoksen etu on sen pieni koko verrattuna AIS-kytkinlaitokseen. Se soveltuukin paremmin asutuskeskuksiin kuin ilmaeristeinen kytkinlaitos. Kaasueristeisen kytkinlaitoksen haittapuolena on korkeampi hinta verrattuna ilmaeristeiseen laitokseen ja sen jonkun verran huonompi käytettävyys, 110 kV GIS-kytkinlaitokset toteutetaan 2-pääkiskolaitoksia ilman apukiskoa, eli niistä puuttuvat ohi-kytkentämahdollisuus. Myös mahdollisten vikojen korjaaminen vaatii isompia keskeytyksiä kuin AIS-kytkinlaitoksilla, johtuen kaasutilojen konfiguroinnista. Nykyaikainen GIS-kojeisto on jaettu useampiin pienempiin kaasutiloihin niin, että mahdollisen vian vaikutus olisi mahdollisimman pieni ja sen korjaaminen ei vaatisi useamman alueen käyttökeskeytystä. Vian korjaus GIS-kojeistolla vaatii aina viallisen komponentin kaasutilan tyhjentämistä. Varotoimenpiteenä useasti myös vierekkäisten kaasutilojen kaasupaineen puolittamisen ja tekeminen jännitteettömiksi, eli voi johtaa jopa kolmen vierekkäisten johdon keskeytykseen. Keskeytystarvetta voidaan vähentää lisäämällä kaasutiloja kojeistoon mutta silloin kojeiston koko kasvaa ja se johtaa myös kojeistorakennuksen kasvattamiseen. Eristekaasuna on GIS:eissä, käytetty perinteisesti SF6-kaasua, joka on yksi pahimmista kasvihuonekaasuista. Nykyään löytyy jo sen korvaavia kaasuja, jotka ovat vähemmän vaarallisia ilmakehälle, esim. tällainen on Siemensin Blue GIS, joka käytännössä on vaaraton koska se sisältää pelkkää puhdistettua ilmaa. Fingrid on ottanut tavoitteeksi, että kaikki uudet 110 kV GIS-kytkinlaitokset tehdään SF6-vapaalla tekniikalla. [2,s.128][12] [15]

Fingridillä on kolme 400 kV GIS-asemaa. Ne ovat kaikki duplex-tyyppiä eli ovat käytettävyydeltään parempia, kuin kaksi pääkiskokojeistot. Aikaisemmin muuntaja kentät toteutettiin puoliduplexinä. Nämä ovat sitten myöhemmin täydennetty täysiduplexkentiksi. Tällainen kiskokonfiguraatio johtaa siihen, että kaasutilojen avaus ja kytkinlaitteiden huolto ei vaikuta vierekkäisiin kenttiin, koska koko kytkinlaitoksen kuormat voidaan siirtää toiselle kiskonpuolikkaaseen. Näin voidaan

suorittaa huolto toiselle kiskolle ilman keskeytyksiä. Duplex kojeisto on huomattavasti kalliimpi kuin kaksikiskokojeisto. Se johtuu siitä, että se on toteutettu kahdella katkaisijalla ja näiden syiden takia sen käyttö ei ole yleistynyt 110 kV:n verkossa. [15]



Kuva 8. 400 kV GIS-kytkinlaitos Vantaan Tammistossa Kuva. [27]

5.8 Muuntaja-alue

Muuntaja alue sijaitsee yleensä 110 kV ja 400 kV kytkinlaitosten välillä. Se käsittelee päämuuntajat muuntajasuojineen, 20 kV kytkinlaitokset reaktoreineen ja kondensaattoreineen. Joillakin asemilla 20 kV kytkinlaitos sisältää myös 20/0,4 kV omakäyttömuuntajan. Muuntaja-alueella on myös muuntajan, tähtipistelaitteet ja muuntajan ylijännitesuojat, sekä 20 kV kytkinlaitos kompensointilaitteineen. [8]

5.8.1 Muuntajien tähtipistejärjestelmä

Fingridin verkossa muuntaja on kytkentäryhmä, on YNyn0D11 ja 400 kV tähtipiste on tehollisesti maadoitettu, ja 110 kV tähtipisteet ovat osittain maadoitettuja. Käytännössä tekninen ratkaisu molemmilla puolilla on sama eli kaikkia tähtipisteitä kytketään tähtipiste-erottimien kautta maadoituskuristimeen, 110 kV puolella vaan jätetään osa erottimista auki, näin saadaan maasulkuvirrat rajoitettua 6 kA:iin ja niistä johtuvat vaarajännitteet pienennettyä. 400 kV puolella tähtipisteessä käytetään 120 tai 80ohmiin kela, ja 110 kV tähtipisteessä 100 tai 65 ohmin kela. Jos asemalla on kaksi muuntajaa, kytketään ne yhteiseen kelaan molemmilla jännitetasoilla. [6, s206] [8] [10] [11]

5.8.2 Ylijännitesuojaus

Muuntajat ovat sähköverkon herkimpiä kohteita vioittumaan ylijännitteistä ja sen takia ne suojataan ilmastollisilta ylijännitteiltä, ukkosjohtimilla ja ylijännitesuojilla. Ylijännitesuojat asennetaan niin lähelle suojattavaa kohdetta kuin on mahdollista, jotta suojaus olisi optimaalinen. Tässä tapauksessa siis muuntajan läpivientejä. Muuntajan tertiääri läpivientejä suojataan paitsi vaiheen ja maan välillä kytketyillä ylijännitesuojilla, mutta myös vaiheiden välillä kytketyillä ylijännitesuojilla. Ylijännitesuojat ovat posliini- tai silikoni eristimiin kasattuja sinkkioksidista (ZnO) sintrattuja sylintereitä, jotka normaalitilanteissa eivät johda sähköä mutta tietyn jännitteen ylitettyä alkavat johtamaan sähköä. Aikaisemmin käytettiin myös ylijännitesuojina kipinävälillisiä bi-karbidi elementeistä tehtyjä suoja, mutta ne ovat nykyään harvinaisia. [2 s.241-242][20]

5.8.3 20 kV kytkinlaitos

Muuntajat syöttävät 20 kV kytkinlaitosta tertiääri käämityksillä, 20 kV kytkinlaitos on yksikiskolaitos pitkittäiserottimella, joilla saadaan kytkinlaitos jaettua kahtia. Korkeiden oikosulkuvirtojen vuoksi päämuuntajat eivät voi olla rinnankytkettyjä tertiääreistään. 20 kV kiskostoon on kytkettynä omilla kentillään 63 MVAR:in reaktoreita, jotka käytetään 400 kV verkon jännitteen kompensoimiseen, jos 400 kV jännite nousee, säätöautomaattiikka kytkee reaktorit verkkoon kompensoimaan jännitenousua. Muuntajien tertiääritehon ollessa 125 MVAR, rajoittaa se reaktoreiden määrän maksimissaan kaksi per muuntaja eli normaalisti neljä per muuntoasema. Johtuen verkon muutoksista rakennetaan myös nykyään 50 MVAR kondensaattoreita 20 kV laitokselle. Kangasalan asema, joka valmistuu vuonna 2024, on ensimmäinen asema, jolla on neljä kappaletta reaktoreita sekä neljä kappaletta kondensaattoreita kytkettynä 20 kV kiskostoon. Kondensaattoreita käytetään kompensoimaan jännitteenalaskuja 400 kV verkossa. Kondensaattoreita ja reaktoreita käytetään eri tarkoituksiin ja niitä ei voi kytkeä samaan aikaan verkkoon. [8] [15]

5.8.4 Muuntajasuoja

Johtuen muuntajan kriittisyydestä komponenttina ja korkeasta palokuormasta sekä suuresta ympäristöriskistä mitä iso öljymäärä tuo mukanaan, muuntajasuojalla on useita kovia vaatimuksia. Sen pitää suojata ympäröiviä laitteita ja rakenteita. Muuntajan syttyessä tuleen, sen pitää myös kerätä rikkoutuneen tankin valuttamat öljyt talteen ja lisäksi toimia ballistisena suojana muuntajalle ulkoisista tihutöistä. [16]

Fingridin verkkomuuntajat sijoitetaan suojaseinällisiin ns. muuntajabunkkereihin. Bunkkeriin kuuluu muuntajan perustus ja sen alla on suoja-allas, jonka päällä sijaitsee öljypalon hidastava sammutuskerros. Bunkkerin rakenteisiin kuuluu myös teräsristikkorakenteinen portaali, johon 110 kV ja 400 kV liityntäjohdot muuntajakenttiin päättyvät. Muuntajasuojan edustalla on myös ns. raidealusta, joka on

suomen kiskoleveydellä toteutettu rautatieraide. Sen päällä muuntaja siirretään bunkkeriin. Koska muuntaja painaa kuljetuskunnossa 295 tonnia, sitä ei pysty nostamaan bunkkeriin vaan se pitää työntää hydraulisilla tunkeilla paikoilleen. Sitä varten muuntajalle asennetaan pyörät pohjan alle. Muuntaja toimitetaan lavettikuljetuksella sähköasemalla ja se ajetaan siirtoraiteiden päälle, muutamissa sähköasemissa on raidekuljetus perille asti. Niissä muuntaja tuodaan rautatievaunulla asemalle asti. Muuntaja tunkataan ilmaan lavetilta tai rautatievaunulta, ja kun siihen on asennettu pyörät, voidaan se laskea alas ja työntää muuntajasuojaansa. [16]

Standardien mukaan muuntajasuojan alla pitää olla keräilyallas, tai muu vastaava ratkaisu, johon mahtuu muuntajan öljyt, jos muuntajankuori repeää. Fingridin muuntajasuojassa on allas, jossa on tilaa sadalle tonnille muuntajaöljyä, joka vastaa noin 140m³. Tämän lisäksi on 200 mm lisätila bunkkeriin kertyvälle sadevedelle. Jos vuotanut muuntajaöljy syttyy tuleen tai öljy alkaa vuotamaan tulipalosta vuoksi, pitää altaassa oleva öljy sammua itsestään. Tämä voidaan toteuttaa useammalla tavalla. Ennen vanhaan altaan päällä oli metallinen ritilä, jonka päällä oli kasattu kiviä. Öljy mahtui valumaan kivien välistä mutta sammui hapenpuutteen altaassa. Toinen toteutus tapa oli limittäin asennetuilla ontelolaatoilla. Nykyään käytetään yksinomaan tätä varten tehtyjä metallisia rakenteita, esim. alumiinista turkkilevyä, jossa on reititystä. Öljy pääsee valumaan helposti levyjen rei'istä suoja-altaaseen mutta mahdolliset liekit tukehtuvat siellä hapenpuutteen. Toinen käytetty ratkaisu on alumiinina ritilä, jonka alla on alumiinisia sammutuskasetteja. Öljy valuu sammutuskasettien läpi ja mahdolliset liekit tukahtuvat. [15][16][22]

Sadevesi pääsee vapaasti valumaan altaaseen, koska muuntajabunkkeri on auki ylhäältä, tämän vuoksi se pitää säännöllisin väliajoin tyhjentää. Tällöin vesi johdetaan öljyerottimen läpi, jossa mahdollinen öljy erotetaan vedestä ja otetaan talteen, puhdistettu vesi johdetaan sitten ns. viivästysaltaan kautta laskuoihin. Viivästysaltaan tehtävä on muuntajan tulipalon sattuessa kerätä öljynsekaiset sammutusvedet. Tällöin niitä voidaan imeä pois imuautoilla, ja öljyiset vedet eivät

joutuisi luontoon. Muuntajan suojaseinien tärkein tehtävä on suojata ympäröiviä sähköasema rakenteita mahdollisten muuntajapalojen aiheuttamaa lämpösäteilyä vastaan. Muuntajan palokuorma on merkittävä suuren öljymääränsä vuoksi. Muuntajapalo aiheuttaakin lämpösäteilyyn suurta tuhoa noin kolmen kymmenen metrin säteellä. Tulipalon sattuessa alueella alumiinijohtimiin ja teräsrakenteisiin tulee kohtalokkaita vaurioita ja rakennukset voivat saada pahoja vaurioita. [15][16]

Nykyään Fingridissä on muuntajabunkkereiden etäisyydet toisistaan minimissään 25 metriä, jolloin ne palaessa eivät aiheuta toisilleen vahinkoa, Mikäli muuntajat ovat lähekkäin, niille, voidaan asentaa sammutusjärjestelmä esim Marioff Hi-fog jollaista on Tammiston muuntajabunkkereissa. Marioff Hi-fog on korkeapaine vesisumu järjestelmä, jonka etuna on normaalipaineiselle sprinklerijärjestelmälle se, että käyttää huomattavasti vähemmän vettä. Näin ollen myös vesivahingot ovat pienemmät. Järjestelmä tuottaa hienon sumun, joka haihtuu palon lämmöstä ja pienentää entisestään veden aiheuttamia ongelmia. Järjestelmän sammutusvaikutus perustuu siihen, että vesipisarat haihtuvat nopeasti ja tällöin ne sitovat lämpöä ja viilentävät paloa, sekä syrjäyttävät hapen. Hieno vesisumu sitoo myös tehokkaasti savukaasujen hiukkasia ja estää savuvahinkojen synnyn. [15] [21]

6 Verkkomuuntajat

6.1 Verkkomuuntajan määrittely

Verkkomuuntajan tehtävä on osana kantaverkosta siirtää tehoa 400 kV siirtoverkon ja 110 kV verkon välillä tai 220 kV ja 110 kV verkon välillä.



Kuva 9. Alapitkän T2 järjestelmämuuntaja kuva. [27]

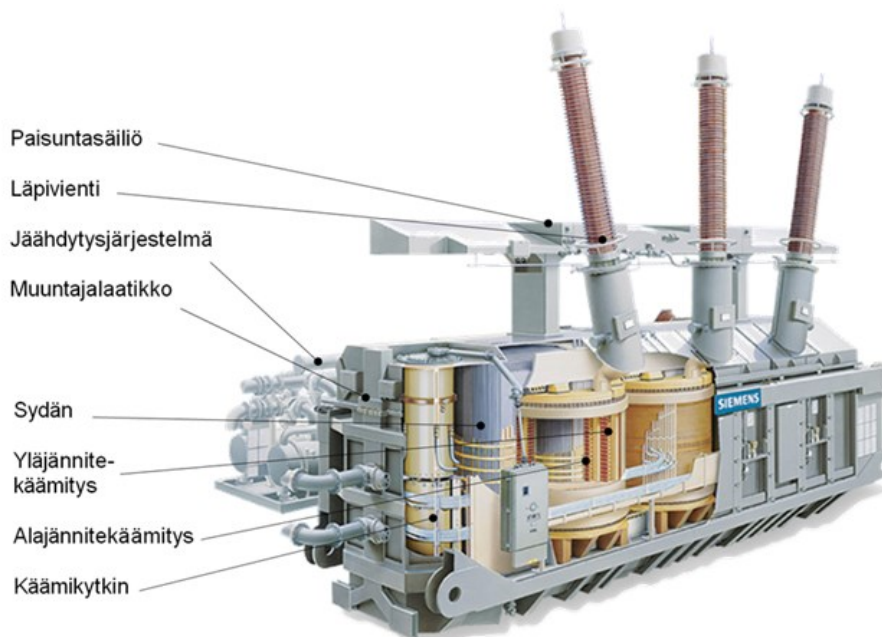
Koska suurin osa tehon siirrosta tapahtuu 400 kV verkossa ja melkein kaikki kuluttajat ja tuotantolaitokset ovat kytkettynä sähköverkkoon 110 kV verkon tai siihen kytkettyjen verkkojen kautta, on verkkomuuntajien merkitys Suomen voimajärjestelmälle merkittävä. Muuntajat ovat kantaverkon kallein ja kriittisin yksittäinen komponentti. Sen takia niiden suojaaminen ja infran suunnittelu tehdään

huolellisesti. Kantaverkko suunnitellaan n-1-periaatteella, joka tarkoittaa sitä että, yksittäisen muuntajan vikaantuminen ei aiheuta voimansiirtoverkossa isoa leviävää vikaa, joka voisi lamauttaa koko Suomen. Vika jää sen sijaan paikalliseksi eikä se aiheuta asiakkaille minkäänlaista keskeytystä sähkön käytössä.

Muuntaja on siis iso ja kallis komponentti, jota on hankala korvata. Vikatapauksissa ei voida odottaa, että saataisiin tehtaalta korvaava laite. Samoin tilannetta pahentaa edelleen se, että kaikki muuntajatehtaat, jotka voivat toimittaa näin isoja muuntajia, sijaitsevat ulkomailla. Tämän takia Fingridillä on aina olemassa minimissään yksi varalaite, jota voidaan siirtää nopeasti mihin tahansa muuntoasemalle, jos joku käytössä olevista muuntajista vikaantuu. Ottaessa käyttöön esteröijyeristeisiä muuntajia, joudutaan myös niille hankkimaan varamuuntaja. Mineraaliöljymuuntaja ei voi olla esteröijymuuntajan varalaite, joskin toisinpäin se on mahdollista. Fingridin verkkomuuntajat ovat 400/110/20/0,4kV systeemi-muuntajia. Lisäksi Lapissa on myös käytössä 220/110/20/0,4kV muuntajia joko 400MVA tai 2500MVA tehoisina. Kaikki nykyään hankittavat 400 kV muuntajat ovat 400MVA kolmivaiheisia kolmikäämimuuntajia. [3][15]

6.2 Verkkomuuntajan rakenne

Muuntaja koostuu useammasta osasta. Yksi niistä on ns. aktiiviosa eli rautasydämen, jonka ympärille on käämitty kupariset paperieristeiset käämit. Muuntajassa on muuntajalaatikko eli tankki, jonka sisään aktiiviosa on suljettu. Lisäksi siinä on käämikytin, jäähdytysjärjestelmä, mittaus- ja suojauslaitteisto sekä muuntajan kannella asennetut läpiviennit. [2, s.141-142]. Seuraavissa luvuissa esittelen tarkemmin muuntajan osia.



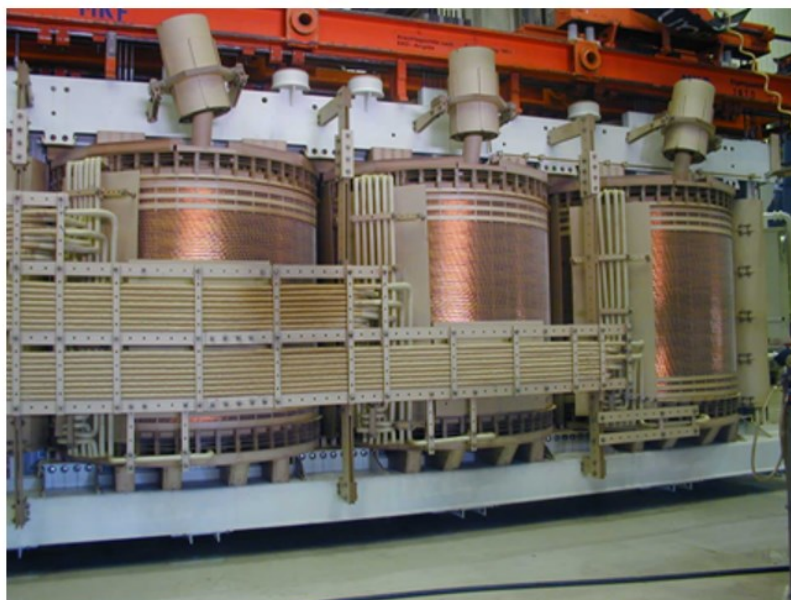
Kuva 10. Siemens järjestelmämuuntajan räjäytyskuva [8]

6.3 Muuntajan aktiiviosa

Muuntajan aktiiviosa koostuu muuntajaöljyyn upotetusta rautasydämeestä, jonka ympärille muuntajan käämit on kierretty. Fingridin muuntajissa rautasydämet ovat viisipylväisiä. Ne ovat tehty ns. muuntajapelleistä, jotka ovat 23- 25 mm paksuja kidesuunnattuja laserkäsiteltäviä teräslevyjä. Levyt ovat kasattu päällekkäin ja ne ovat kiinnitetty toisiinsa teräksisten puristuspaikkien avulla. [2, sivu 441-442] [6][8]

Muuntajan käämit ovat kierretty rautasydämien kolmen keskimmäisten pilareiden ympäri, ja koko aktiiviosa on asetettu muuntajalaatikkoon pystyasennossa. Tätä rakennetta kutsutaan sydänmuuntajatyypiksi tai core type -muuntajaksi. Verkkomuuntajalla on viisi käämiä. 400 kV yläjännitekäämin ja 110 kV alajännitekäämin lisäksi löytyy 20 kV tertiärikäämi, joka toimii paitsi stabilointikääminä myös syöttävänä käämin 20 kV reaktoreille ja kondensaattoreille, joilla kompensoidaan 400 kV verkkoa. Näiden lisäksi löytyy myös 400 kV säätökäämi ja 0,4 kV käämi, jota

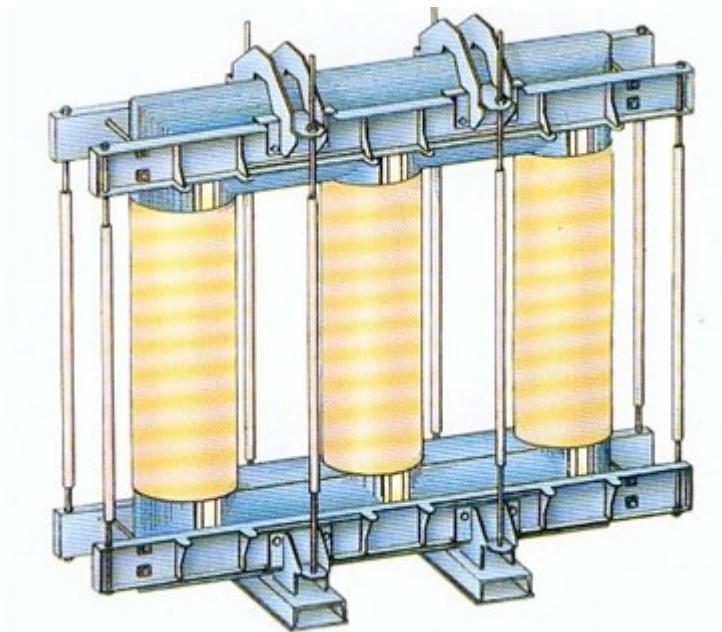
käytetään syöttämään sähköaseman apusähköjärjestelmää. 20 kV käämi on kytketty D-kytkentään, toisin kun muut käämit, jotka ovat Y-kytkennässä. Käämit ovat muuntajan pilareiden ympäri kierrettynä päällekkäin niin, että sisempänä on 110 kV käämi, seuraavana 400 kV käämi ja uloimpana on 20 kV käämi. Tämä on erilainen konfiguraatio kuin mitä yleensä maailmalla käytetään. Ulkomailla käämit ovat järjestetty jännitetason mukaisesti niin, että pienijännitteisin käämi on sisimpänä. Fingridin käyttämä erikoinen ratkaisu tuo kuitenkin useita etuja, esimerkiksi nyt 20 kV reaktoreiden kytkeminen muuntajan tertiäärikäämiin ei vaikuta 110 kV käämin jännitteeseen, vaan ainoastaan 400 kV jännitteeseen. Näin voidaan 400 kV jännitteeseen vaikuttaa tertiäärireaktoreilla ja kondensaattoreilla. [2, sivu 143–144] [6] [8]



Kuva 11. Siemens 400 kV 400MVA järjestelmämuuntajan aktiiviosa [6]

Muuntajan käämit ovat tehty pääsääntöisesti elektrolyyttikuparista, joka on erittäin puhdasta kuparia. Tämän lisäksi myös alumiinia voidaan käyttää käämimateriaalina. Käämien eristysaineena käytetään lämpökäsiteltyä paperia, joka kestää korkeita lämpötiloja ja on pitkäikäisempää kuin normaali paperi, jota on aikaisemmin käytetty. Erityisen vaativissa kohteissa voidaan käyttää synteettistä Nomex -eristinmateriaalia. Käämien johtimet ovat poikkileikkaukseltaan

suorakaiteenmuotoisia ja ovat tyypiltään ns. nippujohtimia. Tämä tarkoittaa sitä, että yhden eristyskerroksen sisällä on useampi johdin. Tällaisia johtimia kutsutaan continuously transposed conductor eli CTC:iksi. [2, sivu 143–144] [6] [8]

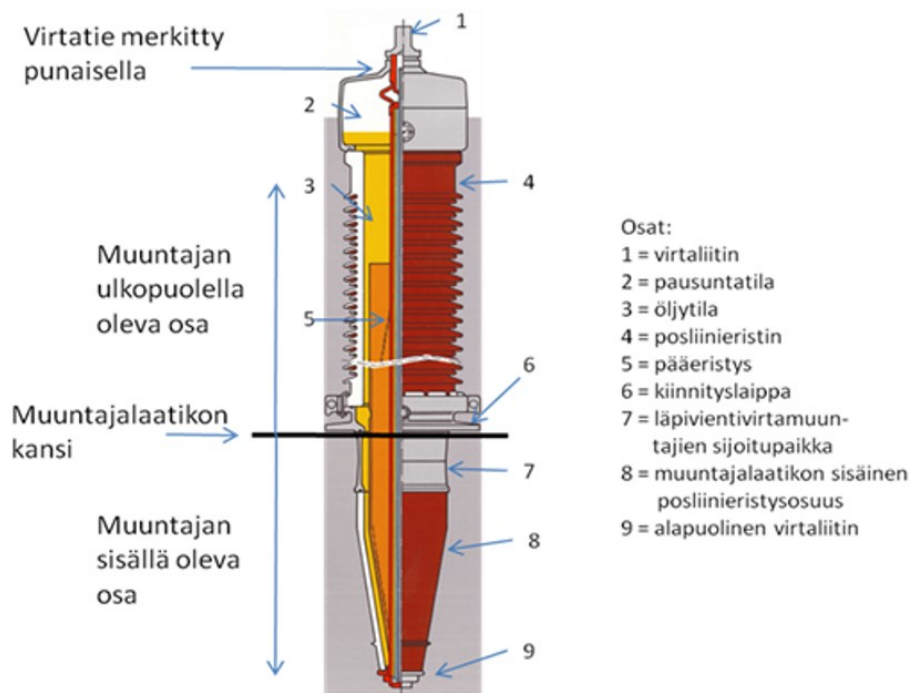


Kuva 12. Muuntajan sydän ja puristuspaikat, kolmipylväinen sydänmuuntaja [2, sivu 416] [6]

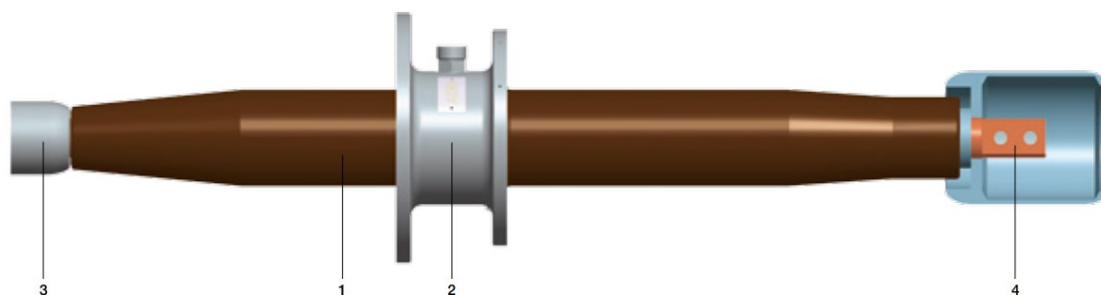
6.4 Suurjänniteläpiviennit

Muuntajan kannella on suurjännitteiset läpiviennit, jotka koostuvat posliinikuoresta, jonka sisällä on kuparista tehty virtatie. Näiden välillä on kondensaattorirakenteinen pääeriste. Pääeristeen ja posliinikuoren välillä on lisäksi eristeenä öljyä. Edellisten lisäksi voidaan käyttää myös ns. kuivaeristimiä, jotka eivät sisällä öljyä. Ne ovat tehty silikonikumista. Eristimien päässä on kuparitappi, johon kiinnitetään virtakiskot tai köydet suurjänniteliittimien avulla. Eristinosa jatkuu muuntajalaatikkoon ja virtatien toisessa päässä löytyy alapuolen virtaliitin. Koska kaupunkiasemassa on tärkeätä, että muuntaja on mahdollisimman kompakti,

käytetään siinä pistokeliitimille soveltuvaa läpivientä tähtipisteliitynnöille ja GIL-putkille sopivia läpivientejä 400 kV puolen liitynnöille. 110 kV ja 20 kV läpiviennit tehdään avoliitynnöillä, koska virtojen ollessa niin isot, joudutaan käyttämään useampia kaapeleita per vaihe ja se olisi vaikea tehdä pistokeliittimillä [6 s.425][8]



Kuva 13. Kondensaattori rakenteinen läpivienti [8, sivu 425]



Kuva 14. ABB MICALFIL GIL-muuntaja läpivienti, 1) hartsikyllästetty paperikuori, 2) Laippa 3) pistokeliitin GIL-putkeen 4) pulttiliitos muuntajan käämityksiin [13]

6.5 Paisuntasäiliö

Muuntajan sisältämän öljyn tilavuus vaihtelee kuormituksen ja jäähdytysilman lämpötilan mukaan, jolloin sanotaan, että muuntaja ”hengittää”. Tämän ilmiön vuoksi muuntajissa käytetään paisuntasäiliötä, joka on sijoitettu muuntajabunkkerissa omalle telineelle. Ylimääräinen öljy menee paisuntasäiliöön, kun se laajenee lämpötilan muutoksista johtuen. Samoin myös toisinpäin - Kun muuntaja jäähtyy, valuu muuntajaöljyä paisuntasäiliöstä muuntajaan. Paisuntasäiliön tilavuus on noin 12 % muuntajan koko öljytilavuudesta. Nykyään myös käämikytkimellä on oma paisuntasäiliö, joten sen öljyt eivät pääse sekoittumaan muuntajan öljyyn. [6 s.429–430]

6.6 Esteriöljyeristeinen muuntaja

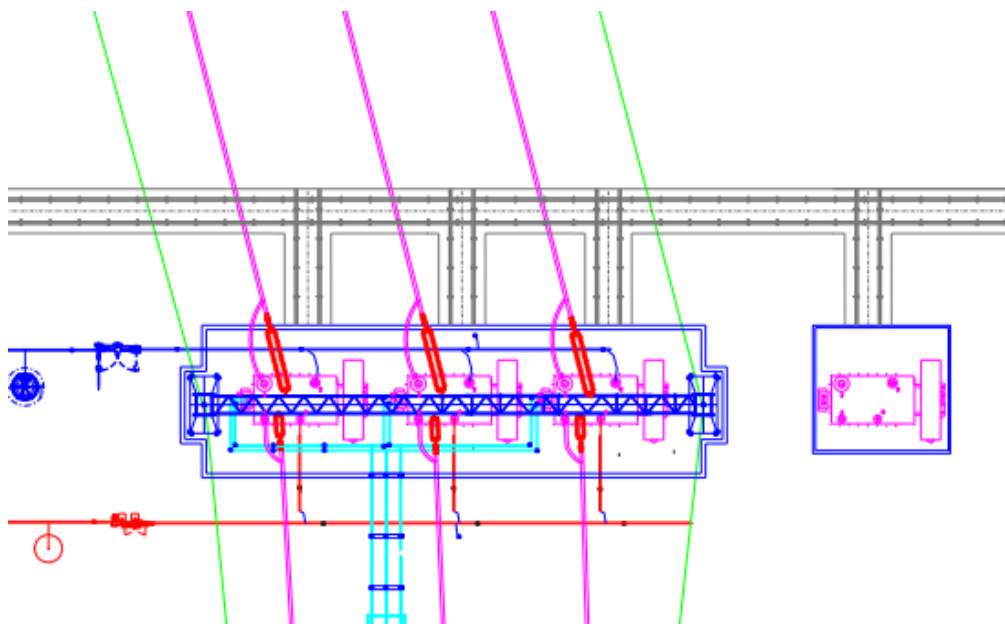
Esteriöljyeristeinen muuntaja on pääosin samanlainen kuin mineraaliöljyeristeinen muuntaja. Erona on se, että esteriöljyisessä muuntajassa joudutaan käyttämään eristysaineena erikoisaineita johtuen esteriöljyn huonommasta eristyskyvystä. Esteriöljyn korkeamman viskositeetin vuoksi öljykanavat suunnitellaan isommiksi, ettei tulisi ongelmia muuntajan jäähdytyksen kanssa. Fingridillä tutkitaan, voisiko 20 kV tertiäärikäämin ulosotot jättää kokonaan pois kaupunkisähköasemien muuntajista. Tällöin tertiäärikäämillä ei voisi syöttää ulkopuolisia kompensointilaitteita, vaan se toimisi ainoastaan tasauskääminä. Tämän seurauksena tertiäärikäämin kokoa voitaisiin pienentää. Tämän etuna on se, että muuntajan rautasydäntä voidaan suurentaa ja näin saadaan muuntajahäviöitä pienemmäksi. Käämiratkaisu seurauksena olisi se, ettei kaupunkisähköasemilla voida käyttää 20 kV tertiääriin kytkettyjä kompensatiolaitteita, vaan jouduttaisiin käyttämään 400 kV reaktoreita. [3]

6.7 Esteriöljyeristeinen yksivaihemuuntaja

Olen tutkinut mahdollisuutta käyttää yksivaiheyksiköitä kaupunkisähköasemilla ja muilla asemapaikoilla. Yksivaihemuuntajan suurin etu verrattuna kolmivaihemuuntajaan on sen huomattavasti pienempi koko ja paino. Yksivaiheyksikköä voi kuljettaa pienemmällä kalustolla kuin kolmivaihemuuntajaa. Kuljetuksen yhteispaino on 120 tonnia verrattuna kolmivaihemuuntajan 295 tonniin. Yksivaiheyksikköä pystyy siis viemään useammalle asemakohteelle kuin kolmivaihemuuntajaa. Yksivaiheyksiköiden suurin haittapuoli on niiden korkea hinta verrattuna kolmivaiheyksiköihin. Kolme yksivaiheyksikköä maksaa noin 80 % enemmän kuin yksi kolmivaiheyksikkö. Yksivaihemuuntajien käyttöä mietittiin Vanhankaupungin sähköasemalle hankkeen alussa, koska ajotie tontille on todella jyrkkä ja mutkainen eikä sovi muuntajakuljetuksille. Ongelma kuitenkin ratkesi, kun Helsingin kaupunki tarjosi uutta muuntajareittiä Viikin kalliolle rakentuvien teiden kautta. Tämä uusi reitti on sovelias muuntajakuljetuksille. On tärkeää, että yksivaiheyksiköiden käyttö on mukana suunnitteluissa, kun mietitään uusia suunniteltavia kaupunkikohteita. Jos esimerkiksi tulevaisuudessa joudutaan rakentamaan muuntoasemaa maan alle kallioluolaan, voisi yksivaiheyksikkö olla hyvä vaihtoehto. Toinen käyttökohde yksivaiheyksiköille voisi olla kaukana isoista teistä sijaitsevat sähköasemapaikat, jonne ei saada helposti rakennettua muuntajakuljetukselle sopivia teitä. Lisäksi yksivaiheyksikkö olisi toimiva ratkaisu niissä kohteissa, joiden muuntajakuljetuksen varrella on paljon siltoja. Lisäksi vastaavia tapauksia saattaa tulla jatkossa paljon esiin, kun rakennetaan yhä enemmän tuulivoimaloita. [30]

Liitteessä 4 olen piirtänyt yksivaihemuuntajilla toteutetun AIS-kytkinlaitoksen muuntaja-aluetta kahdella yksivaiheyksiköllä toteutetulla muuntajalla. Kuvassa näkyy myös varamuuntajayksikkö, joka mahdollisesti sijoitettaisiin asemalle. Muuntaja-alueesta tulee jonkun verran isompi kuin kolmivaiheyksiköillä toteutetuna, mutta toisaalta silloin ei tarvita suojaesineitä, kun käytetään esteriöljyeristeisiä muuntajia. Toisin sanoen kustannukset eivät nouse. Suoja-allas voi olla myös paljon pienempi, kun käytetään yksivaihemuuntajia, koska tällöin ei tarvitse

varautua kuin yhden muuntajan öljymäärään. Kuvissa näkyy myös muuntajien 20 kV kiskojärjestelmä, josta tulee jonkun verran monimutkaisempi kuin kolmivaihemuuntajilla, johtuen siitä, että 20 kV D-kytkentä pitää tehdä. Liitteessä 5 olen piirtänyt kaupunkiaseman toteutettuna yksivaihemuuntaja yksiköillä. Tässä ratkaisussa muuntajasuojat kasvavat jonkun verran verrattuna kolmivaiheyksiköihin.



Kuva 15. Esteriöljyeristeiset yksivaihemuuntajat ja varayksikkö.

7 Mineraali- ja esterööljyjen vertailu

Ensimmäiset tehomuuntajat olivat ilmaeristeisiä, joiden ongelmana oli ensinnäkin huonompi jäähdytys kuin öljyeristeisillä muuntajilla, mutta myös toiseksi käämien lyhyempi elinikä johtuen eristeiden oksidoitumisesta. 1800-luvun lopulla keksittiin eristää muuntajan aktiiviosa mineraaliöljyllä ja se onkin ollut yleisin ratkaisu muuntajissa tähän päivään asti. Kuivamuuntajia on myös jonkun verran ollut

käytössä pienemmissä muuntajissa. Näissä käytetään epoksihartsia eristeenä. Niiden haittapuolena on huonompi jäähtyminen kuin öljyeristeisillä muuntajilla. [17, s347-352]

Mineraaliöljyjä on nykyään käytössä laaja valikoima. Nämä öljyt voidaan jakaa karkeasti kahteen lajiin: parafiini- ja naftaleenipohjaisiin. Molemmat öljyt valmistetaan raakaöljystä. Mineraaliöljyn suurin etu on sen alhainen hinta verrattuna kilpaileviin tuotteisiin. Sen haittapuolena on alhainen syttymispiste (noin 140–150 celsius-astetta). 1930-luvulla keksittiin lisätä PCB:tä öljyyn nostaakseen sen leimahduspistettä. PCB kuitenkin kiellettiin 1970-luvulla johtuen sen myrkyllisyydestä. [17, s347-352]

Tämän jälkeen on tehty tutkimuksia PCB:n korvaavien tuotteiden löytämiseksi, jotka eivät olisi niin myrkyllisiä kuin PCB, mutta paloturvallisimpia kuin normaali mineraaliöljy. Korvaajiksi on löydetty erilaiset orgaaniset ja luonnolliset esteriöljyt. Luonnolliset öljyt ovat nimensä mukaisesti kasviöljyjä, esim. auringonkukka, soija ja rapsiöljy. Näitä öljyjä käytetään pienemmissä verkkomuuntajissa. Orgaaniset esteriöljyt ovat nimestään huolimatta kokonaan synteettisesti tuotettuja. Esteriöljyjä saadaan esteröimällä pentyyli-alkoholia ja rasvoja. Esteröinnin tuotteena syntyy esteriä ja sivutuotteena vettä. Esteriöljyn leimahduspiste on mineraaliöljyä huomattavasti korkeampi, noin 250 celsiusastetta, joka tekee öljystä käytännössä palamattoman. Esteriöljy on myös myrkytön ja biohajoavaa. Se hajoaa luonnossa muutamissa päivissä. Nämä ominaisuudet tekevät siitä hyvän vaihtoehdon muuntajaöljyksi kriittisissä kohteissa kuten kaupunkiasemissa ja pohjavesialueilla sijaitsevilla sähköasemilla. Esteriöljyn toinen hyvä ominaisuus verrattuna mineraaliöljyyn on se, että se voi sitoa itseensä noin 50 kertaa enemmän kosteutta kuin mineraaliöljy menettämättä sähköistä eristyskykyään. Tämä johtuu esteriöljyn esterisidoksien suuremmasta lukumäärästä. Ne sisältävät 20 kertaa enemmän esterisidoksia kuin mineraaliöljy. [17, s347-352] [29, s.13]

Esteriöljyllä on tosin myös haittapuolia verrattuna mineraaliöljyyn. Yksi niistä on sähköinen eristekyky. Esteriöljy on noin 1.4 kertaa herkempi sähköisille

läpilyönneille kuin mineraaliöljy. Tämä tarkoittaa sitä, että vastaavilla sähköisillä ominaisuuksilla varustettu esteriöljyeristeinen muuntaja on suurempi kooltaan kuin mineraaliöljyeristeinen. Koska Fingridin muuntajat ovat jo nykyisellään aivan ylärajoilla, mitä Suomen rautateillä ja maanteillä pystytään kuljettamaan, on niiden koon kasvattaminen mahdotonta. Tämän takia pitää hyväksyä vähän isompia muuntajahäviöitä pienentämällä muuntajan rautasydäntä ja näin saadaan koko muuntajan aktiiviosaa pienemmäksi ja öljytilavuutta isommaksi. [3] [17, s347-352]

Toinen haittapuoli esteriöljyllä on sen huonompi kylmäkäynnistysominaisuus. Se on jähmeämpi matalissa lämpötiloissa ja siten sen jäähdytysteho on matalampi kuin mineraaliöljyllä vastaavissa lämpötiloissa. Jos muuntajaa lämmitetään liian nopeasti, saattaa se vaurioitua öljyn kieron häiriintyessä ja muuntajaan muodostuu hotspot:eja. Tällä tarkoitetaan muuntajan käämeissä paikallisesti kuumempaa kohtaa kuin muuntajassa keskiarvoisesti. Näissä kuumemmissa alueissa saattaa käämin eristys heiketä ja läpilyönnin riski kasvaa. Nykyiset esteriöljyt kuitenkin toimivat niinkin alhaisissakin lämpötiloissa kuin -40 astetta, jolloin Etelä-Suomessa ei ole ongelmaa tämän kanssa. [3]

8 Muuntajan jäähdytysjärjestelmä

Tehomuuntajassa öljy toimii sekä eristysaineena että jäähdytysaineena. Suurin osa muuntajassa tuotetusta lämmöstä on ns. kuparilämmitystä (l. resistiivinen lämpöhukka) ja osa lämpöhäviöistä on ns. rautahäviöitä. Öljy myös suojaa muuntajakäämien paperierityksiä hapettumiselta. Jotta muuntajan jäähdytys toimisi, pitää muuntajaöljyn sitoma lämpö saada luovutettua pois järjestelmästä, esimerkiksi ympäröivään ilmaan. Muuntajien jäähdytysjärjestelmät kuvataan nelikirjaimellisilla lyhenteillä, jotka on selitetty kuvassa 17. Jäähdytysluokan ensimmäiset

kirjaimet muodostuvat muuntajan eristysnesteestä ja sen kierrätystavasta sekä jälkimmäiset jäähdystavasta. [18]

		Code Letter	Description
Internal	First letter (cooling medium)	O	Liquid with flash point less than or equal to 300°C
		K	Liquid with flash point greater than 300°C
		L	Liquid with no measurable flash point
	Second letter (cooling mechanism)	N	Natural convection through cooling equipment and windings
		F	Forced circulation through cooling equipment, natural convection in windings
		D	Forced circulation through cooling equipment, directed flow in main windings
External	Third letter (cooling medium)	A	Air
		W	Water
	Fourth letter (cooling medium)	N	Natural convection
		F	Forced circulation

Kuva 16. Taulukko muuntajien jäähdysluokista [18]

8.1 ONAN- ja ONAF-jäähdytys

Erilaisia jäähdystapoja on useita, joista ONAN ja ONAF lienevät yleisimmät. ONAN eli Oil Natural Air Natural -järjestelmässä muuntaja on kytketty muuntajan ulkopuoliseen radiaattoriin tai useampaan radiaattoreihin putkilla. Yleensä putkia on kaksi, ylä- ja alavirtausputki. Öljyn lämpötilaerot saavat aikaseksi konvektiovirtauksia, joka ajaa öljyn virtaamaan yläputkista radiaattoreihin. Öljy palaa painovoimalla radiaattorin läpi alaputken kautta takaisin muuntajaan. Kun öljy kulkee radiaattorin kautta, luovuttaa se lämpöä ympäröivään ilmaan ja jäähtyy. [6 s.431–433]

ONAF -järjestelmä eli Oil Natural Air Forced on muuten samanlainen kuin ONAN, mutta siinä muuntajan radiaattoreiden jäähdytystä tehostetaan tuulettimien

avulla. Järjestelmä on tehokkaampi kuin ONAN -järjestelmä, koska radiaatto-reista saadaan haihdutettua lämpö nopeammin tuulettimien avulla. [6 s.431–433]

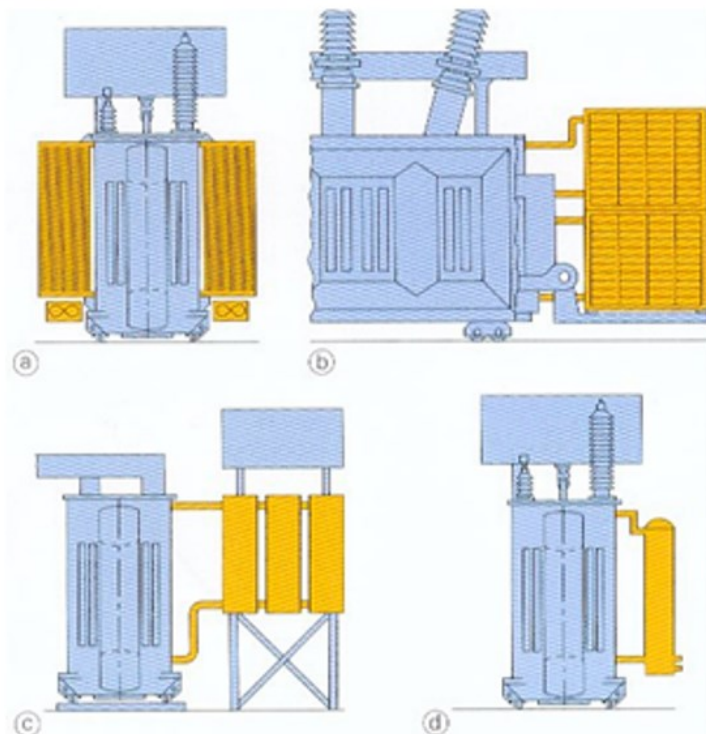
Fingridissä on perinteisesti käytetty muuntajissa ONAN/ONAF -jäähdytysjärjestelmää, jolloin käytetään näitä kahta jäähdytystapaa rinnakkain 60/40 -suhteessa. ONAN-järjestelmä on käytössä 60 %:n tehoon asti ja sen jälkeen jäähdytysautomaattikka käynnistää tuulettimet ja muuntaja toimii ONAF jäähdytteisenä. Tässä järjestelmässä on etuna se, että pystytään käyttämään muuntajia 60 % kuormassa, vaikka jostain syystä tuulettimet pysähtyisivät esimerkiksi moottorin rikkoutumisen tai apusähkön puuttumisen takia. [6 s.431–433]

8.2 ODAF-jäähdytys

ODAF-järjestelmässä järjestelmässä muuntajan käämityksessä on jäähdytystä tehostavia öljykanavia, joista muuntajaöljy ohjataan kulkemaan pumppujen avulla. D-kirjain (directed) tarkoittaa suunnattua öljynkiertoa. Pumput ovat tyypiltään propellipumppuja, joka tarkoittaa sitä, että vaikka ne pysähtyisivät, pääsee öljy kiertämään niiden läpi eikä muuntajan jäähdytys kokonaan lakkaa toimimasta. Fingridin uusimmat tehomuuntajat ovat olleet tyyppiä ONAN/ODAF, jossa muuntaja toimii 40 % asti ja sen jälkeen käynnistyvät öljypumput ja tuulettimet. Muuntajaa pystyy siis kuormittamaan 40 %:n teholla, vaikka öljynkierrätyspumput jostain syystä lopettaisivat toiminnan [6 s.431–433][10]

Kaupunkiasemissa on mielekästä käyttää hajautettua ODAF-järjestelmää, jossa käytetään muuntajasuojan ulkopuolelle sijoitettuja jäähdyttimiä. Tässä järjestelmässä öljyä kierrätetään pumpuilla putkia pitkin jäähdyttimille, jotka voivat sijaita kymmeniä metrejä muuntajista. Näin muuntajasuojaa voidaan tehdä tiiviiksi ja muuntajan tuottama melu ei kantaudu ympäristöön. Silloin voidaan asettaa muuntajan automaattikka valvomaan ja ennakoimaan muuntajien lämpötilaa. Näin saadaan ennakoitua jäähdyttämiseen, kun tuulettimia voi käynnistää pienellä käyntinopeudella ennen kuin öljyn lämpötila nousee kriittiseen lämpötilaan. Kun

tuulettimet käyvät pienillä nopeuksilla niiden käyntiäänäni on myös hiljaisempi ja häiriö ympäristöön rajoittuu. [6 s.431–433]



Kuva 17. Muuntajan jäähdytystapoja: a) ilmajäähdytys luonnollisella kierrolla sekä puhalti-min tehostettuna ONAF, b) erillinen radiaattori, öljyn kierto pumpuilla OFAF, c) erillinen radiaattori, pelkkä luonnollinen kierto ONAN, d) vesijäähdytys lämmönvaihtimella OFWF. [8]

8.3 ODWF-jäähdytys

ODWF järjestelmässä öljy kiertää lämmönvaihtimen läpi, joka on vesijäähdytetty. Vesi on useimmiten kytketty joko sähköaseman lämmitysjärjestelmään tai jos ollaan kaupunkialueella, kaukolämpöjärjestelmään. Näin saadaan muuntajan hukkalämpöä otettua talteen. Muita hyötyjä vesijäähdytyksestä on tilansäästö. Esimerkiksi, jos muuntajaa sijoitetaan kallioluolaan maanalaisilla asemilla,

vesijäähdytteinen lämmönvaihdin on erittäin kompaktin kokoinen eikä vie paljon tilaa. Haittapuolena on tosin se, jos vesikierto häiriintyy, niin muuntajan jäähdytys lakkaa toimimasta. Voisi ajatella, että optimaalinen tilanne olisi se, että vesikierrolla jäähdytettäisiin normaalisti ja vikatilanteita varten olisi radiaattorijäähdytys, joka hoitaa jäähdytyksen hätätapauksissa. Tämä toteutetaan käytännössä niin, että lämmin öljy johdetaan ensin lämmönvaihtimen läpi ja sitten radiaattoreihin, joissa se jäähdytetään, jos lämmönvaihdin ei toimi. [6 s.431–433]

9 Kaupunkisähköasema

9.1 Kaupunkisähköaseman erikoispiirteet

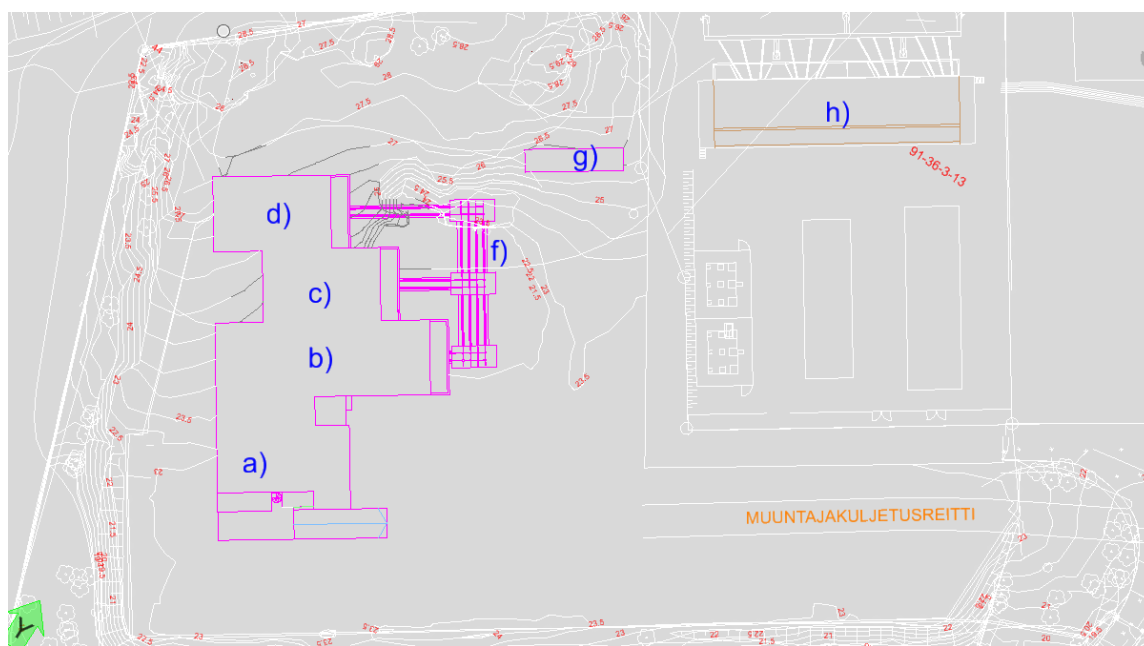
400 kV muuntoasemaa ei voida toteuttaa tiheästi rakennettuun suurkaupunkiin samalla tavalla kuin sähköasemaa taajaman ulkopuolelle. Suurimmat rajoitukset tuo tonttimaan puute ja toisaalta myös kaupunkisuunnittelu ja kaavoitus. Vaikka sopiva tontti löytyisi, ei sen käyttö sähköasematonttina suurella todennäköisyydellä onnistuisi kaavoituksen vuoksi. Lisäksi myös kaavoituksen muuntaminen on työlästä ja hidasta. Edellä mainittujen syiden vuoksi kaupunkiasemasta täytyy tehdä mahdollisimman kompakti ja meluongelmien pienentämiseksi pitää kaikki melua tuottavat laitteet, kuten muuntajat ja reaktorit, sijoittaa sisätiloihin tai muutoin suojata vaikkapa meluaidoilla, niin etteivät ne tuota häiritsevää melua ympäristöön. Monet kaupungit vaativatkin äänikartoituksen tekoa ennen ja jälkeen sähköaseman rakentamisen, jotta sen vaikutukset ympäristöön pystytään näyttämään toteen. Koska kaikki tekniikka sijoitetaan rakennuksen sisään, pitää erityistä huomiota suunnata laitteiden jännitteisten osien etäisyyksistä rakennuksen seiniin sekä muihin maadoitettuihin osiin. Optimaalinen tilanne olisi se, että kaikki korkeajänniteosat olisivat koteloituja ja kosketussuojattuja. Tähän ei päästä vielä, ainakin 110 kV muuntajanavat ja muuntajien tähtipistekelat toteutetaan avokytkinlaitos tekniikalla. Myös 20 kV tertiäärikäämityksen joudutaan tekemään ilma-eristeisinä. [32]. Luvussa 10 ”Muuntajien liittäminen verkkoon” kuvaan tarkemmin edellä mainittuja syitä.

Fingridillä on menossa tällä hetkellä pääkaupunkiseudulla kaksi kaupunkisähköasemaprojektia. Nämä ovat Vanhakaupungin ja Hepokorven sähköasemat. Molempia suunnittelukohteita yhdistää se, että ne täytyy rakentaa tonteille, jotka ovat murto-osa esim. kuvassa 4 esitetystä Kristinestadin sähköasemasta. Molempia asemia toteutetaan kokonaan GIS-tekniikalla ja suljetuin muuntajarakennuksin esteriöljyeristeisillä muuntajilla. Hepokorpi sijaitsee aivan 400 kV avojohdon varrella ja saa syötön siitä. Vanhakaupunki rakennetaan puolestaan keskelle

Viikinmäen asuinalueetta ja se saa syöttönsä rakenteilla olevasta 400 kV kaapelista Länsisalmen sähköasemasta. [32]

9.2 Vanhankaupungin sähköasema

Vanhankaupungin sähköasema rakennetaan Helsingin Viikin kaupunginosaan Helen sähköverkon Viikinmäen sähköaseman viereen. Se tulee syöttämään Helenin asemaa aluksi yhdellä muuntajalla, tulevaisuudessa mahdollisesti kahdella. Asema koostuu aluksi 400 kV GIS-kojeistosta ja yhdestä verkkomuuntajasta. Vanhankaupungin asemalla ei tule olemaan omaa 110 kV kytkinlaitosta, vaan 110 kV kaapelit kytketään suoraan muuntajien napoihin. Toisessa päässä ne kytketään HSV:n GIS-kytkinlaitokseen. Asema on tiiviisti rakennettu. GIS-kojeistorakennus ja muuntajarakennus ovat kiinni toisissaan. Asemalla on tilavaraus toista muuntoa ja yhtä 400 kV reaktoria varten, olemassa on myös tilavarukset länteen ja pohjoiseen lähteville kaapeleiden kytkinlaitteille. [32]



Kuva 18. Vanhankaupungin sähköasema a) 400 kV GIS-rakennus b) Muuntaja 1 c) Muuntaja 2 d) 400 kV Reaktori e) Siirtoraide f) Varavoimakone g) HSV 110 kV GIS. muokattu lähteestä [31]

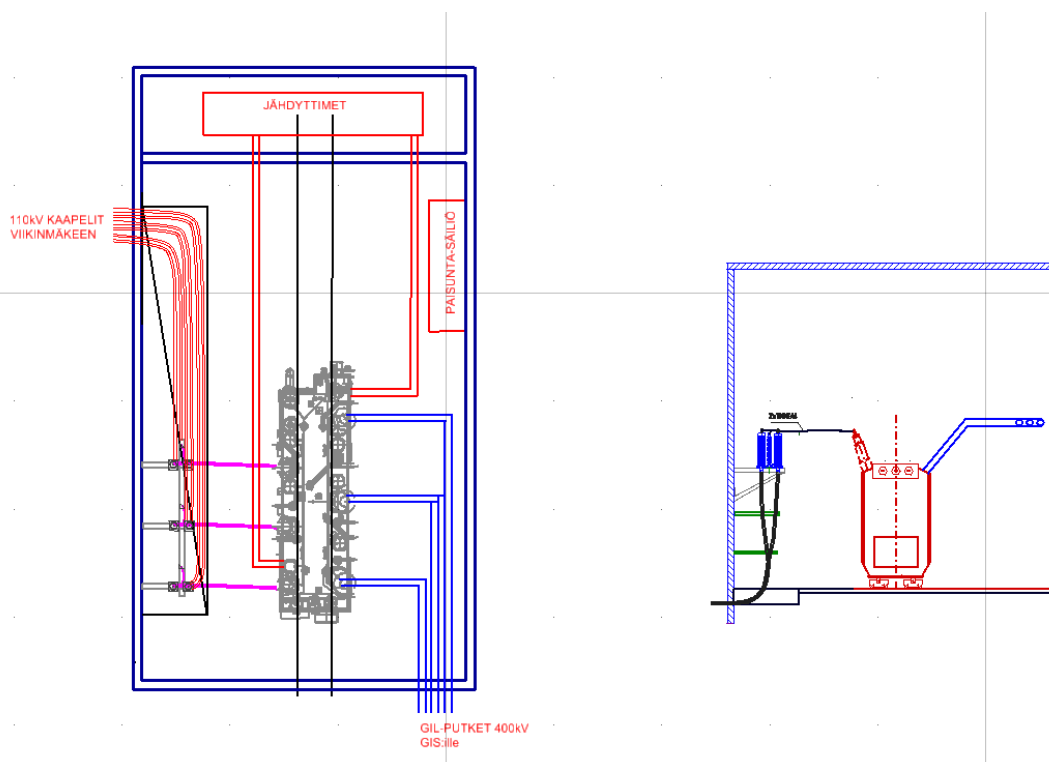
9.3 Kaupunkiaseman muuntajasuoja

Kaupunkiasemilla muuntajasuoja pitää olla erilainen kuin AIS-asemilla. Käytännössä melutorjunnan vaatimukset ajavat siihen, että muuntaja pitää olla sijoitettuna umpinaiseen rakennukseen. Jos kyseessä on umpinainen muuntajatila, niin se johtaa myös siihen, ettei tarvitse välittää öljynkeräysaltaan sadeveden vesittämisestä. Näin ollen ei ole myöskään riskiä, että öljyä joutuisi ympäristöön. Pienikin öljypäästö on ympäristöhaitta, mutta myös mainehaitta Fingridille. Koska käytetään umpinaista muuntajarakennusta, olisi mielekkäämpää käyttää esterioilyeristeisiä muuntajia. Esteriöljy on standardeissa määritelty K-luokan eristeaineeksi, joka on vähemmän paloherkkä kuin normaalit mineraaliöljyt. Nämä ovat puolestaan O-luokan eristeaineita. Esteriöljyeristeine muuntaja voi SFS 6001 standardin mukaan asentaa sisätiloihin ilman sammutusjärjestelmää, kunhan muuntajabunkkerin rakenteet ovat EI60-paloluokkaa. Silloin ei myöskään tarvitsi miettiä sammutusvesien poiskeräämisestä. Kaupunkiasemien öljyn keräysjärjestelmä on paljon helpompi toteuttaa, kun ei tarvitse olla kuin koko muuntajaöljymäärän kokoinen umpinainen tila muuntajasuojan alla. Suoja-altaan kannen ei tarvitse olla liekkejä tukahduttavaa tyyppiä, vaan riittää, että se läpäisee öljyä tarvittavan nopeasti niin, että öljy virtaa suoja-altaaseen. Sieltä se on sitten helppo imuroida imuauton letkulla talteen. [5, s.70] [32]

Kaupunkiaseman muuntajan liityntätapa määrittää sen, että muuntaja sijoitetaan muuntajasuojaan pitkittäin toisin kuin AIS-aseman muuntaja, joka puolestaan työnnetään poikittain muuntajabunkkeriin. Koska AIS-asemalla liitytään muuntajaan ylhäältä päin virtaköysillä, joita on helppoa irrottaa muuntajan siirron aikana, niin silloin poikittain toteutettu muuntaja on optimaalisin ratkaisu. Kaupunkiasemalla kytkeydytään kaapeleilla tai GIL-putkilla, joiden poisto siirron ajaksi on hankalaa. Tällöin halutaan, että muuntajan edusta on vapaa ja kytkennät tehdään muuntajan sivuilta. Se johtaa siihen, että muuntajan siirtoraide on erilainen kuin AIS-asemalla ja muuntajaa lasketaan raiteelle muuntajasuojan sivulla 90 asteen kulmassa eikä muuntajasuojan eteen niin kuin AIS-asemalla. Kuvassa 19 olen piirtänyt esimerkkiratkaisun kaupunkiaseman muuntajabunkkerista. Siinä

tuodaan muuntajan 110 kV kaapelit seinästä sisään ja kaapeliläpiviennit tiivistetään esimerkiksi vesitiiviitä Roxtec-läpiveinneillä. Muuntajabunkkeriin tehdään erillinen noin 3x15 metriä ja syvyydeltään 0,7 metriä kaapelikouru kaapeleille, jossa ne mahtuvat kääntymään kaapelipäätetelineelle. Kaapelin taivutussäde on noin 2 metriä asennettaessa ja lopullinen asennussäde 1,4 metriä. Kuvassa näkyy myös muuntajan jäähdyttimet, joihin kytketään muuntajan öljynkiertoputkilla. Ne ovat sijoitettuna muuntajasuojan oven yläpuolelle erilliseen ulokkeeseen, johon tulevat jäähdytysritilät, jotta ilma pääsee kiertämään ja muuntajan jäähdytys toimii. Kuvassa näkyy myös muuntajan paisuntasäiliö, joka sijoitetaan muuntajasuojan seinälle. Myös 400 kV GIS-putket näkyvät kuvassa. [32]

Muuntajan etupuolelle on jätetty noin 5 metrin tilavaraus mahdollisille 20 kV kiskostolle ja kaapeleille, mikäli joskus päätetään liittää muuntajaan tertiääriin 20 kV kompensointilaitteita. Liitteessä 2 on esitetty Vanhankaupungin sähköaseman sijoituspiirustuksen ja liitteessä 3 muuntajasuojan leikkaus ja sijoituspiirustus.



Kuva 19. Vanhankaupungin muuntajasuoja [31]

10 Muuntajan liittäminen verkkoon

10.1 110 kV liityntätapa

Vanhassakaupungissa 110 kV puoli liitetään suoraan muuntajan navoista HSV:n Vanhankaupungin sähköaseman GIS-kojeistoon, ilman Fingridin suojaavaa katkaisijaa välissä tai muuta kytkinlaitetta. Liityntäpiste on muuntajabunkkerissa, jonne HSV tuo omat kaapelinsa. Liityntätavaksi on yhteisesti sovittu kaapelit, joskin muitakin liityntätapoja olisi mahdollista harkita, esimerkiksi avokiskoratkaisu tai GIL-putkilla toteutettu liityntä. Molemmat edellä mainitut ratkaisut ovat kuitenkin vaikeita toteuttaa Vanhassakaupungissa, jossa liityntäsuunta on muuntajien raidealustoja risteävä. Näin ollen maanpäälliset rakennelmat, kuten ilmaeristeiset kiskot tai GIL-putket, olisivat muuntajakuljetuksen tiellä eivätkä olisi mahdollisia. Myöskään GIL-putkien toteuttaminen maanalaisena asennuksena ei ole hyvä ratkaisu, koska muuntajaraiteiden alla putket olisivat huonosti vaihdettavissa tai huolettavissa jos ne vikaantuisivat. Kaapeleille voi sen sijaan asentaa vetoputket raidealustan valuun, josta ne voi sitten helposti vetää pois ja vaihtaa uudet tilalle, jos ne vikaantuvat. Muuntajasyötöt Viikinmäkeen toteutetaan kahdella 2000Cu -kaapelilla per vaihe, kuten esim. Prysmian HXLMK-W PEX -eristetyillä kaapeleilla. Kaapelit asennetaan tasoon noin 500 mm etäisyydessä toisistaan ja ne asennetaan tarvittaessa putkiin ns. weakmix -valuun. Weakmix on suhteessa 1:14 hiekka-betonivalu, jonka lämpöresistiivisyys on optimoitu parantamaan kaapeleiden kuormitusta. Kaapeleita voidaan kuormittaa 1500A per kaapeli ja, koska on kaksi kaapelia per vaihe, muuntaja voi syöttää asemaa 3000A virralla, mikä vastaa muuntajan 1,5 kertaista nimellisvirtaa. Kaapelit päätetään 110 kV kaapelipäätteillä, jotka ovat ns. kuivapäätetyyppejä eli eivät sisällä öljyä niin kuin aikaisemmin paljon käytetyt öljyeristeiset kaapelipäätteet. Kaapelipäätetelineelle asennetaan myös ylijännitesuojat, jotka suojaavat kaapelia ja muuntaja mahdollisilta ylijänniteiltä. Kaapelipäätteiltä mennään muuntajan 110 kV napoihin avokiskolla tai mahdollisesti 2x1095Al virtaköysillä, jotka virrankestoisuudeltaan vastaavat 3000A. [25][32]

Periaatteessa olisi mahdollista tehdä myös 110 kV liittynästä kosketussuojattu pistokeliittimillä niin kuin tähtipisteessä, mutta johtuen kaapeleiden suuresta määrästä on vaikeata asentaa 6kpl pistokeliitintä muuntajan kannelle. Myös kaapeleiden suuri poikkipinta ja taivutussäde tuo ongelmia tällaiselle ratkaisulle.

10.2 Kosketussuojatut kaapelit tähtipisteissä

Kaupunkiasemien tähtipisteissä käytetään kosketussuojattua pistokeliitintä sekä 400 kV että 110 kV tähtipisteliitännöissä. Koska tähtipisteen jännite on maksimissaan sama kuin vaihejännite, käytetään ylijännitepuolen tähtipisteellä 245 kV laitteita ja kaapeleita. 110 kV tähtipistejärjestelmässä käytetään kuitenkin 110 kV vastaavia. Kaapelit kytketään tähtipistekelojen erottimille kaapelipäätteillä ja avojohtoliitännöillä. [11] [33]

Tähtipistekelat valmistetaan alumiinilangoista, jotka ovat pinnoitettu epoxy-hartsilla ja kierretty keloiksi. Se on eristetty ja käyttömielessä se käsitellään jännitteisenä osana ja sitä koskee samat etäisyysvaatimukset kuin paljailla jännitteisillä korkeajänniteosilla. Näin ollen se pitää asentaa eristimille ja asentaa korkealle tai sen luokse pääseminen estetään. Tästä johtuen sitä ei kannata asentaa muuntajabunkkerin sisään, koska se veisi turhia kuutioita rakennustilaa. Keloja kytketään päälle ja pois erottimilla, jotka ovat myös ilmaeristeisiä ja kannattaa sijoittaa muualle kuin bunkkeriin. Näille laitteilla tarvitaan siis esimerkiksi erillinen kylmäsuoja ulos tai sitten niille rakennetaan vain suojaseinät, jotka maisemoidaan kaupunkiympäristöön soveltuviksi. Suojaan sijoitetaan myös kaapeleiden päätteet, joilla ne kytketään kaapeleihin ja ylijännitesuojat, joilla suojataan kaapeli ylijännitteistä. [4] [5]

10.3 GIL-putket

400 kV puolella on Fingridissä kokemuksia GIL-putkista jo 1980-luvun alkupuolelta. Niitä on käytetty läpivienteinä GIS-rakennuksissa, kun mennään seinästä

läpi avojohtoon. Sekä Seinäjoen että Tammiston asemilla on esimerkiksi tehty tällainen ratkaisu. GIL-putki on 400 kV jännitetasolla varteenotettava vaihtoehto kaapeleille johtuen 400 kV kaapeloinnin isosta hinnasta. Ensimmäiset 400 kV kaapeloinnit tulikin Fingridillä käyttöön vasta Länsisalmen sähköasemalla vuonna 2016. GIL-putket ovat kaasueristeisiä voimansiirtojohtoja, joiden tavallisin eristyskaasu on SF6-kaasu. GIL-putki sisältää johtimen tai alemmissa jännitetasossa kaikki vaihejohtimet kolmiossa. Johtimet ovat alumiinitankoa ja ne ovat kiinnitetty putken sisään hartsieristimillä

Kaupunkiasemassa GIL-putkien käyttö 400 kV asemilla on oikeastaan ainoa vaihtoehto koska se on vähemmän tilaa vievää ja helpompi toteuttaa kuin kaapeli liityntä. Koska niillä voi mennä suoraan muuntajan yläjännitepuolelle GIL-läpivienneillä, niin muuntajasta tulee kosketussuojattu yläjännitepuolella ja bunkkeria voi vastaavasti pienentää verrattuna AIS-bunkkeriin. [2, s.133–134][23] [26]

10.4 Kaupunkiaseman muuntajan ylijännitesuojaus

Koska muuntajan liityntätavat ovat erilaisia kuin normaali AIS-kytkinlaitoksella, tulee myös ylijännitesuojauksesta erilainen. Tällöin periaatteessa ei tarvitse varautua ylijännitesuojoihin ilmastollisista syistä muualla kuin tähtipistekaapeleille, jos tähtipisteet asennetaan ulos. Tähtipistekaapeleiden toinen pää kytketään pistokekaapeleilla muuntajaan eli siellä ei ole tarvetta ylijännitesuojille. Olen varannut tilaa tähtipisteille 110 kV liityntäkaapeleille kaapelipäätteiden viereen. Myös muuntajaan ja 400 kV kojeiston välille asennettaviin GIL-putkiin on mahdollista asentaa ylijännitesuojat joko muuntajan päähän tai GIS-kojeiston päähän. Kaupunkiasemasta pitääkin teettää kokonaisvaltainen eristyskoordinaatio tutkimus, jossa päätetään miten ylijännitesuojaus pitää toteuttaa.

11 Johtopäätökset

Olen tässä HKI-projektissa toiminut sähköasema esisuunnittelijana. Siinä roolissa olen etsinyt ratkaisuja teknisiin ongelmiin ja haasteisiin, joita on esiintynyt. Näitä työni tuloksia voidaan käyttää projektin tulevassa hankintaprosesseissa ja myös pohjana mahdollista kaupunkiasemien -suunnitteluohjetta laatiessa. Tätä kirjoittaessani projekti alkaa olla siinä vaiheessa, että tärkeimmät tekniset ratkaisut on tehty ja hankkeen budjettia aletaan valmistelemaan. Vaikka aseman muuntaja ja sen infra on suhteellisen pieni osa koko hankkeen kokonaisuutta, on se mielestäni ollut todella mielenkiintoinen suunnittelutyö, koska se on aivan uusi aluevaltaus Fingridille.

Hankkeessa valitut tekniset ratkaisut ovat Vanhankaupungin asemalle sopivimmat ja niitä ei sellaisenaan voi kopioida suoraan seuraavaan kaupunkisähköasemaan, vaan jokainen projekti pitää suunnitella tarkkaan sen omista lähtökohdista käsin. Hepokorven sähköasema, joka valmistuu samoihin aikoihin kuin Vanhakaupunki, on myös omanlaisensa tapaus. Vaikka kummassakin suunnittelukohteessa on paljon samankaltaisuutta, tehtiin Hepokorvessa muutama erilainen ratkaisu verrattuna Vanhankaupunkiin. Minulle on ollut paljon hyötyä seurata niitä. Näistä tärkeimpänä on valittu muuntajan jäähdytystavaksi konventionaalinen ratkaisu, jossa muuntajan jäähdyttimet ovat sijoitettuna kiinni muuntajan sivuilla siten kuin normaalimuuntajissa on. Bunkkerin ei pidä olla umpinainen, vaan siinä pitää olla ilmaraot, jotta ilma pääsee kiertämään. Tämä järjestely on mahdollinen Hepokorvessa, koska siellä ei tarvitse niin hiljaista muuntajaa kuin Vanhassakaupungissa. Se johtuu siitä, että Hepokorven asema sijaitsee vilkkaan liikennöidyn kehä kolmosen varrella. Vaikka jäähdyttimien sijainti on erilainen kuin Vanhassakaupungissa, ovat muuntajat muuten samanlaisia toteutukseltaan, koska niiden pitää olla vaihtokelpoisia keskenään. Molemmissa asemissa tullaan käyttämään samat liityntätavat muuntajalle eli avokiskoilla ja kaapeleilla 110 kV puolella sekä pistokeliittimillä tähtipisteissä ja GIL-putkilla 400 kV läpivienneissä.

Mikäli Fingridissä päätetään toteuttaa Vanhankaupunki ja Hepokorpi esteriöljymuuntajilla, hankitaan Hepokorven ja Vanhankaupungin asemille uusi esteriöljyeristeinen yhteinen varamuuntaja. Tietenkin saattaa olla niin, ettei jostain syystä hankita esterimuuntajia näille asemille ja silloin pitää miettiä uudestaan joitain ratkaisuja. Muuntajan sijoitussuunnitelmaa voidaan käyttää sellaisenaan, mutta jouduttaisiin asentamaan sammutusjärjestelmää muuntajille.

Myös esterieriteisten yksivaihemuuntajien tarkastelu ja niiden käytön miettiminen jatkuu Fingridillä. Ne voisivat olla hyvä ratkaisu, jos tulevaisuudessa rakennettaisiin uusia kaupunkiasemia, esimerkiksi ihan kaupungin keskustaan, jossa on vaikeata kuljettaa isoa kolmivaihemuuntajaa tai jos pitää sijoittaa muuntoasema maanpinnan alapuolelle esimerkiksi kallioluolaan.

Lähteet

- 1 Elovaara, Jarmo ; Laiho, Yrjö Sähkölaitostekniikan perusteet Otakustantamo 1988
- 2 Elovaara, Jarmo;Haarla Liisa Sähköverkot 2 verkon suunnittelu, järjestelmät ja laitteet, 2011
- 3 Haastattelu Vanhemman Asiantuntijan Timo Ojasen kanssa, useita ajankohtia,
- 4 Trench Coil Products <https://trench-group.com/coils/> Verkkodokumentti Haettu 07/02/ 22
- 5 SFS 6001-2018 Standardi suurjännitesähköasennukset Sesko 2018
- 6 Fingrid Oyj, Kantaverkon käsikirja Helsinki, 2011
- 7 Fingrid Kantaverkon peruskoulutus, sisäinen opetusmoniste 2002
- 8 Fingrid, Kantaverkko-Wiki Sisäinen verkkosivu
- 9 Fingrid Oyj Vuosikerta 2020
- 10 Fingrid Muuntajaspesifikaatio
- 11 Fingrid S22309E1 Tähtipistekelaspesifikaatio
- 12 Siemens Gas-insulated switchgear [Gas-insulated switchgear | Portfolio | Siemens Energy Global \(siemens-energy.com\)](#) Verkkodokumentti Haettu 20/04/22
- 13 ABB Micafil transformer oil-SF6 bushings [Micafil transformer oil-SF6 bushings - GARIP / RTKG 72.5 – 550 kV \(abb.com\)](#) Verkkodokumentti haettu 21/04/22
- 14 ABB TTT-käsikirja 2000-07
- 15 Fingrid S12006 sähköasemien esisuunnitteluohje
- 16 Fingrid S22203E1 Muuntajaperustus, tekninen spesifikaatio

- 17 Martinez-Vega. J, Dielectric Materials for Electrical engineering, 2013 Wiley
- 18 Harlow. James.H, Electric Power Transformer Engineering 2012, Taylor & Francis group
- 19 Haastattelu Suunnittelupäällikkö Aki Laurilan kanssa useita ajankohtia
- 20 Fingrid S22306E1 Surge arrester, tekninen spesifikaatio
- 21 Marioff White paper https://www.marioff.com/de/media/Marioff-2021-6-16-EN-Water-mist-fire-suppression-Whitepaper_tcm988-151273.pdf Verkkodokumentti Haettu 04/04/22
- 22 Liekkiloukku tekniset tiedot <https://liekkiloukku.fi/tekniset-tiedot/> Verkkodokumentti Haettu 04/04/22
- 23 Midel, Urban Transformers safety and Environmental challenges <https://www.midel.com/app/uploads/2018/05/Urban-Transformers-Safety-and-Environmental-Challenges.pdf> Verkkodokumentti Haettu 04/04/22
- 24 <https://www.entsoe.eu/Technopedia/techsheets/gas-insulated-lines-gil-ac> Verkkodokumentti Haettu 04/04/22
- 25 Prysmian, tekninen esite alumiini ja kupari johtiminen PEX eristetty voimakaapeli https://fi.prysmiangroup.com/sites/default/files/business_markets/markets/downloads/datasheets/AHXLMK-W_HXLMK-W_110kv.pdf Verkkodokumentti Haettu 04/04/22
- 26 Lines Hermann J.Koch Gas insulated transmission
- 27 Fingrid, valokuva arkisto
- 28 Fingrid tekninen arkisto

29 Fingrid Helsingin kaaapeliyhteys <https://www.fingrid.fi/kantaverkko/suunnittelu-ja-rakentaminen/helsingin-kaapeliyhteys/> Haettu 04/04/22

28 Fingrid Helsingin kaaapeliyhteys <https://www.fingrid.fi/kantaverkko/suunnittelu-ja-rakentaminen/helsingin-kaapeliyhteys/> Verkkodokumentti Haettu 04/04/22

29 Cigre 2021, , Dielectric performance of insulating liquids for transformers, tekninen esite

30 Hyosung muuntajan datalehti C41-4171-202004-2020-3000_Outline_Reference (1)

31 Arkkitehdit Parviainen Vanhankaupungin arkkitehtipiirustukset,

32 Hki 400 kv kaapelin ylesisuunnitteluaineisto

33 Pfisterer, pistokeliittimet 52-550kV <https://www.pfisterer.com/products/product-groups/52-kv-to-550-kv-connections/> Verkkodokumentti Haettu23/05/22

