



Casimir Skogberg

Vaihtoehtoinen kojeistoratkaisu 110 kV avorakenteisella ulkokytkin- laitoksella

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (YAMK)

Älykäs teollisuus

Opinnäytetyö

8.4.2022

Tiivistelmä

Tekijä:	Casimir Skogberg
Otsikko:	Vaihtoehtoinen kojeistoratkaisu 110 kV avorakenteisella ulkokytkinlaitoksella
Sivumäärä:	53 sivua + 3 liitettä
Aika:	8.4.2022
Tutkinto:	Insinööri (YAMK)
Tutkinto-ohjelma:	Älykäs teollisuus
Ammatillinen pääaine:	Sähkövoimatekniikka
Ohjaajat:	Yliopettaja Jarno Varteva Insinööri (YAMK) Riku Parkkinen

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää hybridikojeistojen käyttömahdollisuuksia Fingridin 110 kV avorakenteisilla ulkokytkinlaitoksilla, sekä tunnistaa käyttökohteita, joissa kyseisestä laitetypistä voisi olla hyötyä. Hybridikojeistojen mahdollisia haittapuolia ja niistä aiheutuvia riskejä tullaan myös arvioimaan.

Kaasueristeiset hybridikojeistot ovat ulos asennettavia modulaarisia laitekokonaisuuksia, jotka sisältävät katkaisijan lisäksi muitakin kytkinlaitteita ja mittamuuntajia. Hybridikojeistomoduurien katkaisijat perustuvat dead-tank-katkaisijatekniikkaan. Dead-tank-katkaisijan katkaisuyksikkö on sijoitettu erilliseen maan potentiaalissa olevaan koteloon. Tällä hetkellä kaikki Fingridin katkaisijat ovat live-tank-tyyppiä. Live-tank-katkaisijan katkaisuyksikkö sijaitsee suurjännitteen potentiaalissa.

Työssä perehdyttiin hybridikojeistojen lisäksi myös perinteisiin 110 kV avorakenteisiin ulkokytkinlaitoksiin sekä niiden laitteisiin ja ratkaisuihin. Opinnäytetyötä varten valittiin kolme mahdollista käyttökohdetta hybridikojeistoille. Valituille käyttökohteille tehtiin suunnittelua ja piirustuksia sekä hybridikojeistoilla että perinteisillä avorakenteisen ulkokytkinlaitoksen laitteilla, jonka jälkeen ratkaisuja verrattiin keskenään sähköasemasuunnittelun ja toteuttamisen näkökulmasta.

Opinnäytetyössä tunnistettiin useita hybridikojeistojen tarjoamia mahdollisuuksia sekä hyötyjä mutta myös mahdollisia riskitekijöitä.

Avainsanat: Suurjännitekojeisto, kytkinlaitossuunnittelu, 110 kV kytkinlaitos, 110 kV katkaisija

Abstract

Author: Casimir Skogberg
Title: An alternative switchgear solution for 110 kV switchyards
Number of Pages: 53 pages + 3 appendices
Date: 8 April 2022

Degree: Master of Engineering
Degree Programme: Intelligent Industrial Solutions
Professional Major: Power Engineering
Supervisors: Jarno Varteva, Principal Lecturer
Riku Parkkinen, M. Eng.

The purpose of this thesis is to research the possibility to use hybrid switchgear on Fingrid's 110 kV air-insulated switchyards, and to identify specific solutions where the use of hybrid switchgear could bring benefits. Possible downsides and risks of using hybrid switchgear will also be investigated.

Hybrid switchgear are gas-insulated, outdoor switchgear. They are modular in design and contain other switchgear and instrument transformers, in addition to the circuit breaker. The circuit breakers of hybrid switchgear are of dead tank type. The interrupter unit of a dead tank circuit breaker is positioned in a metal container that is at ground potential. Currently all circuit breakers at Fingrid are of live tank type. The interrupter unit of a live tank circuit breaker is at line potential.

In addition to hybrid switchgear, the thesis also covered principles for traditional 110 kV air-insulated switchyards. Three different solutions were picked for further investigation and switchyard design including some drawings were made for these solutions. Designs were made using both traditional air-insulated switchgear and hybrid switchgear, so they could be compared.

In the thesis, hybrid switchgear was found to have several benefits and possibilities for some of the solutions. Possible risks for using hybrid switchgear were also discovered and explained.

Keywords: High-voltage switchgear, Switchyard design, 110 kV switchyard, 110 kV circuit breaker

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
1.1	Tutkimusmenetelmät	1
1.2	Tutkimuksen rajaus	2
1.3	Tutkimuksen tavoitteet ja mittarit	2
2	Kantaverkkoyhtiö Fingrid	2
2.1	Suomen kantaverkko	3
3	Sähköasema	5
4	Eristysrakenteet	5
4.1	Ilmaeristykset	6
4.2	Koteloidut kaasueristykset	7
4.2.1	SF ₆ -kaasu sähköeristeenä	7
5	Suurjännitekojeistot	9
6	110 kV avorakenteinen ulkokytkinlaitos	10
6.1	Kytkinlaitteet	13
6.1.1	Katkaisijat	14
6.1.2	Erottavat katkaisijat	18
6.1.3	Erottimet	19
6.1.4	Maadoituskytkimet	21
6.2	Mittamuuntajat	21
6.2.1	Virtamuuntajat	22
6.2.2	Jännitemuuntajat	24
6.3	Suojausjärjestelmät ja suojareleet	25
7	Dead-tank-katkaisija	26
8	Hybridikojeistot	28
8.1	Miksi käyttää hybridikojeistoa?	32
8.1.1	Laitetyypin mahdolliset haittapuolet	34

8.2	Huolto ja kunnossapito	35
8.3	SF ₆ -vapaa ratkaisut	36
8.4	Humalamäki 110 kV sähköasema	37
9	110 kV hybridikojeistojen mahdolliset käyttökohteet	38
9.1	110 kV voimajohdon pitkittäiskatkaisija	38
9.2	110 kV johtokentän perusparannus	41
9.3	110 kV liityntäasema	45
10	Tutkimustulokset ja yhteenveto	47
	Lähteet	50
	Liitteet	
	Liite 1: 110 kV AIS johtokenttä	
	Liite 2: 110 kV voimajohdon pitkittäiskatkaisija	
	Liite 3: 110 kV johtokentän perusparannus	

Lyhenteet

GIS: *Gas-insulated switchgear*. Kaasueristeinen kojeisto.

AIS: *Air-insulated switchgear*. Ilmaeristeinen kojeisto.

SF₆ *Rikkiheksafluoridi*. Sähkövoimatekniikassa yleisesti käytetty eriste-
kaasu.

CB *Circuit breaker*. Katkaisija.

DCB *Disconnecting circuit breaker*. Erottava katkaisija.

CT *Current transformer*. Virtamuuntaja.

VT *Voltage transformer*. Jännitemuuntaja.

1 Johdanto

Tässä opinnäytetyössä tullaan tutkimaan ja selvittämään hybridikojeistojen käyttömahdollisuuksia Fingridin 110 kV avorakenteisilla ulkokytkinlaitoksilla. Aihe on ajankohtainen sillä Fingridin sähköasemasuunnittelussa ollaan joissakin koh-teissa pohdittu mahdollisuutta käyttää 110 kV hybridikojeistoja. Kaasueristeiset hybridikojeistot ovat ulos asennettavia modulaarisia laitekokonaisuuksia, joihin voidaan integroida katkaisijan lisäksi muitakin kytkinkentän laitteita (kytkinlaitteet, mittamuuntajat, kaapelipäätteet). Rakenteellisesti ratkaisu, jossa kaasueristeisillä hybridikojeistomoduuleilla liitytään ilmaeristeisiin kokoojakiskostoihin, on kaasueristeisen kytkinlaitoksen ja ilmaeristeisen avokytkinlaitoksen yhdistelmä. Hybridikojeistojen katkaisijat perustuvat dead-tank-katkaisijatekniikkaan. Tällä hetkellä kaikki Fingridillä käytettävät suurjännitekatkaisijat ovat live-tank-tyyppiä. Live-tank-katkaisijassa katkaisuyksikkö sijaitsee suurjännitteen potentiaalissa, ratkaisu on yksinkertainen ja kustannustehokas. Dead-tank-katkaisijassa katkaisuyksikkö sijaitsee erillisessä kotelossa, joka on maan potentiaalissa. Hybridikojeistojen modulaarisen laitekokonaisuuden ansiosta ne vaativat huomattavasti pienemmän tilan kytkinkentällä verrattuna erillisiin perinteisiin kytkinkentän laitteisiin. Tästä voisi kytkinlaitossuunnittelun, toteutuksen sekä asennusturvallisuuden kannalta olla hyötyä esimerkiksi perusparannuskohteissa, jossa laitteita uusitaan jännitteisten kojeistojen läheisyydessä. Kun useat tai peräti kaikki kytkinkentän laitteet uusitaan kerralla yhtenä laiteyksikkönä, voidaan säästää myös asennukseen käytettyä aikaa mikä lyhentää keskeytysaikaa.

1.1 Tutkimusmenetelmät

Tämä opinnäytetyö toteutetaan pääosin määrällisenä tutkimuksena, jonka keskeiset osat ovat aineiston keruu, aineiston analyysi ja raportointi. Kerättävä lähdeaineisto tulee koostumaan pääosin alan kirjallisuudesta, tieteellisistä julkaisuista sekä kytkinlaitevalmistajien tuoteoppaista. Opinnäytetyössä tullaan myös suunnittelemaan muutama 110 kV malliratkaisu, jotka toteutetaan hybridikojeistoilla perinteisten kytkinlaitteiden ja mittamuuntajien lisäksi, jolloin ratkaisuja voidaan vertailla kytkinlaitosympäristössä.

1.2 Tutkimuksen rajaus

Tämä opinnäytetyö selvityksineen rajataan tutkimusalueen osalta 110 kV jännitetasoon. Opinnäytetyössä ei oteta kantaa mahdollisuuteen käyttää hybridikojeistoja kantaverkon muilla jännitetasoilla 220 kV ja 400 kV, näiden jännitetasojen ratkaisut ovat kokonaisuudessaan raskaampia ja käyttötarkoituksiltaan suppeampia. Opinnäytetyössä ei myöskään paneuduta muihin 110 kV kytkinlaitosten suunnitteluun tai ratkaisuihin liittyviin haasteisiin.

1.3 Tutkimuksen tavoitteet ja mittarit

Tutkimuksen tavoite on selvittää 110 kV hybridikojeistojen käyttömahdollisuuksia Fingridillä ja tunnistaa ne käyttökohteet missä kyseinen laitetyyppi voisi tuoda eniten hyötyä. Aihetta tullaan lähestymään sähköasemasuunnittelun näkökulmasta. Tutkittavat käyttökohteet ovat pääsääntöisesti erikoisratkaisuja kuten esimerkiksi 110 kV voimajohtojen pitkittäiskatkaisijat tai 110 kV kytkinlaitoksien perusparannushankkeet. Tutkimuksen tavoitteena on lisäksi vertailla kummankin toteutustavan (perinteinen ja hybridikojeisto) hyötyjä ja haittoja sekä selvittää hybridikojeistojen huollon sekä kunnossapidon tarpeita. Tutkimuksen tavoitteena ei ole yrittää löytää korvaajaa Fingridin 110 kV avokytkinlaitoksilla nykyisin käytettäville ratkaisuille tai laitteille.

Tutkimuksen onnistumista voidaan arvioida sillä, saako Fingrid tutkimuksen tulosten perusteella riittävän tiedon siitä onko 110 kV hybridikojeistomodulaari laite, josta voi olla hyötyä ja sopiiko se käytettäväksi Fingridin 110 kV verkossa. Opinnäytetyötä varten tuotettuja suunnitteluratkaisuja on myös pystyttävä hyödyntämään Fingridin sähköasemasuunnittelussa.

2 Kantaverkkoyhtiö Fingrid

Fingrid Oyj on Suomen kantaverkkoyhtiö. Yhtiön omistaa Suomen valtio sekä suomalaiset eläkeyhtiöt. Fingridin päätehtävä on turvata yhteiskunnan varma sähkösaanti kaikissa tilanteissa ympäri vuorokauden ja vuoden sekä edistää

valtakunnallista sähköjärjestelmää. Fingrid siirtää sähköä tuotantolaitoksilta sähköyhtiöille ja teollisuudelle suurjännitteisessä kantaverkossa. Fingridin hallinnoima valtakunnallinen kantaverkko on Suomen sähkönsiirron runkoverkko. Kantaverkkoon on liitetty suuret sähköntuottajat, suuret sähkökuluttajat kuten isot tehtaot sekä jakeluverkkoyhtiöt. [1]

Fingridillä on lakisääteinen tehtävä huolehtia siitä, että sähkön tuotanto ja kulutus pysyy jatkuvasti tasapainossa. Fingrid ei tuota sähköä mutta sillä on käytössään nopeasti käynnistettävää varavoimaa verkon tai voimalaitoksien häiriötilanteita varten. Suomen kantaverkko on osa pohjoismaista sähköjärjestelmää, jossa sähköä siirretään maasta toiseen ja järjestelmä on myös kytketty Keski-Euroopan sähköjärjestelmään. Tämän lisäksi Suomesta on myös tasasähkösiirtoyhteydet Viroon sekä Venäjälle. [1]

Yhtiö on perustettu marraskuussa 1996 ja työllistää tänä päivänä noin 400 henkilöä. [2]

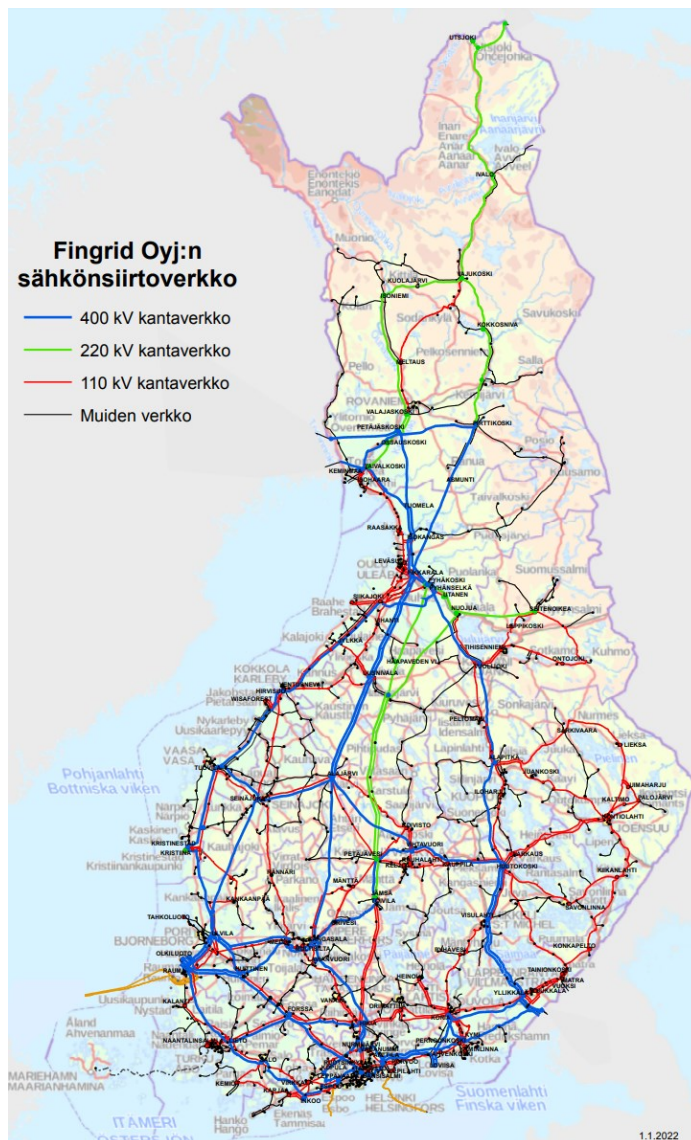
2.1 Suomen kantaverkko

Fingrid vastaa kantaverkon valvonnasta, käytöstä, ylläpidosta, rakentamisesta ja kehittämisestä sekä tasepalveluista ja sähkömarkkinoiden edistämisestä [3]. Valtakunnallinen sähkönsiirron kantaverkko kuuluu Suomalaisen yhteiskunnan tärkeimpiin infrastruktuureihin. Kantaverkkoon kuuluu lähes 120 sähköasemaa ja 14400 kilometriä voimajohtoja. Kantaverkon kautta siirtyy noin 77 % kaikesta Suomessa siirretystä sähköstä. [4]

Pitkien siirtoyhteyksien takia sekä suurilla siirtotehoilla syntyvien häviöiden pienentämiseksi kantaverkkosiirrossa käytetään suuria jännitetasoja. Fingrid käyttää kantaverkon sähkönsiirrossa 400, 220 ja 110 kV voimajohtoja (kV = kilovoltti). Suomessa kantaverkko on rakennettu pääsääntöisesti ilmaeristeiseksi. Tämä tarkoittaa, että sähköasemat ovat pääsääntöisesti ilmaeristeisiä ja voimajohtot ilmajohtoja. Laajamittaiset suurjännitekaapeloinnit ovat Suomen kantaverkossa harvinaisia niiden korkean hinnan vuoksi. [3]

Kantaverkon käyttövarmuudesta puhuttaessa tarkoitetaan siirtoverkon kykyä suoriutua äkillisestä häiriöstä tai verkon komponentin vikaantumisesta täyttäen verkon käytölle asetetut vaatimukset. Käyttövarmuutta arvioidaan verkossa esiintyvien vikojen ja niiden vaikutusten perusteella. Käyttövarmuuteen vaikuttavat myös verkon käyttöön ja suunnitteluun käytetyt mitoitusperiaatteet. [5]

Suomessa sekä muissa Pohjoismaissa kantaverkkojen mitoitusperiaatteena käytetään niin sanottua N-1-kriteeriä. N-1-kriteerillä tarkoitetaan, että sähköjärjestelmän tulee jokaisena hetkenä kestää mikä tahansa yksittäinen vika niin ettei vian vaikutusalue laajene tai aiheuta pahimmillaan suurhäiriötä. [6, s. 153]



Kuva 1. Suomen kantaverkko, 2022. Fingrid [4]

3 Sähköasema

Sähköasemalla tarkoitetaan sähkönsiirto- tai jakeluverkon kohtaa missä suoritetaan kytkentöjä, muunnetaan jännitteitä tai jaetaan sähköenergiaa eri johdoille. Sähköasema koostuu muuntajista, kiskostoista, kojeistoista, kytkinlaitteista sekä muista laitteistoista. Muuntajat, katkaisijat, erottimet sekä mittamuuntajat ovat sähköaseman tärkeimpiä laitteita. Näiden laitteiden lisäksi käytetään suojaustaroituksessa suurjänniteverkkoon mittamuuntajien kautta kytkettyjä releitä. Sähköaseman laitteet voidaan suojata ylijännitteiltä käyttämällä ylijännitesuojia. Sähköasemat voidaan jakaa niiden käyttötarkoituksen ja niiden sisältämien laitteistojen mukaan esimerkiksi erotinasemiin, kytkinlaitoksiin ja muuntoasemiin. [7, s. 76]



Kuva 2. Kristinestad 400/110 kV muuntoasema. Fingrid [8]

4 Eristysrakenteet

Eristysrakenteen jänniteluudella tarkoitetaan eristyksen kykyä kestää jänniterasitusta ilman sähköpurkauksia. Jos eristysrakenteeseen kohdistuva jänniterasitus suurenee liikaa, tapahtuu purkauksia. Purkauksen sattuessa eristysväli muuttuu joko osittain tai täysin johtavaksi. Jos purkaus ei yhdistä elektrodeja

täydellisesti on kyseessä osittaispurkaus. Esimerkiksi kaasumaisessa eristeessä jännitteisen johtimen pinnalla esiintyvät koronapurkaukset ovat eräänlaisia osittaispurkauksia. Täydellisessä purkauksessa elektrodien välinen jännite romahtaa äkillisesti ja eristeen läpi kulkee suuri virta. Täydellisessä purkauksessa eristysrakenteen eristysominaisuus menetetään täydellisesti. Purkaushetkellä eristyksen läpi tai sen yli syntyy hyvin kuuma ja voimakkaasti ionisoitunut kanava, jota kutsutaan valokaareksi. Täydellistä purkausta kutsutaan läpilyönniksi silloin kun purkauskanava kulkee eristeen läpi (pääsääntöisesti yhtä eristettä sisältävässä elektrodivälissä). Jos purkaus tapahtuu kahden eri eristeen rajapinnalla, puhutaan ylilyönnistä. Ylilyönnin aiheuttava jännite on usein selvästi pienempi kuin läpilyönnin aiheuttava jännite. [7, s. 41–42; 9, s. 63, 80]

Eristysrakenteet voidaan jakaa kahteen pääryhmään: palautuviin eristyksiin (self-restoring insulation) ja palautumattomiin eristyksiin (non-self-restoring insulation). Palautuvien eristyksien ominaisuudet eivät juuri muutu läpilyönnin seurauksesta, ja ne säilyttävät jännitelujuutensa myös valokaaren sammumisen jälkeen. Ilma sekä useat muut kaasut ovat palautuvia eristyksiä. Palautumattomien eristyksien jännitelujuusominaisuudet menetetään osittain tai kokonaan läpilyönnin seurauksena. Esimerkiksi kiinteät eristeet ovat palautumattomia eristyksiä. [7, s. 42; 9, s. 63]

4.1 Ilmaeristykset

Ilma on suurjännitetekniikassa yleisimmin käytetty eriste. Ilman läpilyöntilujuus on kuitenkin alhainen verrattuna muihin suurjännitetekniikassa käytettyihin eristeisiin, tämän vuoksi ilmaeristys vaatii suuret eristysvälit muihin eristeisiin verrattuna. Ilma ei voi tukea jännitteisiä osia, joten ilmaeristeisissä rakenteissa on ilman lisäksi käytettävä rinnan myös kiinteistä eristysrakenteita. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että ilmaeristeiset suurjännitteiset kytkinlaitteet on perustettava telineille ja niiden jännitteiset osat on eristettävä telineistä esimerkiksi keeramisin eristimin. Ilman ja kiinteän eristeen rajapintoihin on kiinnitettävä erityistä huomiota eristystä suunniteltaessa, sillä kahden eri eristeen rajapinta on aina eristysrakenteen heikko kohta. [9, s. 96–97]

Ilmavälin eristysominaisuuksiin vaikuttavat ilmavälin muodon ja pituuden lisäksi muutkin olosuhdetekijät kuten ilman lämpötila ja paine, ilmassa olevat epäpuhtaudet, ilman kosteus sekä asennuspaikan korkeus merenpinnasta. [9, s. 108]

4.2 Koteloidut kaasueristykset

Kaupunkiympäristössä olevan rajoitetusti käytössä olevan tilan, teollisuuslaitoksien likaantumisen aiheutuvan haitan tai maisemointisyyistä voi olla tarve rakentaa kytkinlaitos mahdollisimman pienikokoiseksi ja suojattava se ympäristön haittavaikutuksilta. Tällöin ratkaisuna voidaan käyttää koteloitua kaasueristeistä kytkinlaitosta, GIS kytkinlaitosta (gas-insulated switchgear). Koteloiduissa kaasueristyksissä käytetään normaalipainetta suurempaa painetta, jotta eristyskaasun jännitelujuus olisi mahdollisimman suuri. Paineen nostaminen on yleensä kannattavaa vain tiettyyn rajaan asti koska paineen kasvaessa lisääntyy samalla koteloinnille asetetut mekaaniset tiiveysvaatimukset. [9, s. 109]

Koteloiduissa kaasueristyksissä käytetään harvoin paineilmaa, sillä rakenteiden mitoittaminen kestäväksi riittävän suurta painetta ei ole taloudellisesti kannattavaa. Paineilmaa saatetaan kuitenkin käyttää jonkin yksittäisen laitteen eristeenä. Ilman eristyslujuutta voidaan myös parantaa käyttämällä pelkkää koteloitua paineen nostamiseksi. Koteloidussa rakenteessa ei tarvitse ottaa huomioon epäpuhtauksista tai kosteudesta johtuvia ilman jännitelujuutta heikentäviä seikkoja, tällöin ilmavälit voidaan mitoittaa tavanomaista pienemmiksi. [9, s. 109]

4.2.1 SF₆-kaasu sähköeristeenä

SF₆-kaasu eli rikkiheksafluoridi on laajasti käytetty eristekaasu suurjännitetekniikassa. SF₆ on myrkytön ja palamaton kaasu eikä se reagoi herkästi muiden kemiallisten aineiden kanssa. SF₆-kaasulla on erinomaiset valokaaren sammutusominaisuudet. SF₆-kaasu on raskaimpia tunnettuja kaasuja. Kaasun tiheys on yli 5-kertainen ilmaan verrattuna. Puhdas SF₆-kaasu ei ole myrkyllistä mutta voi aiheuttaa suurena vuotona tukehtumisvaaran kaasun syrjäyttäessä happea.

SF₆-kaasun aistinvarainen havaitseminen on vaikeaa, sillä kaasu on väritöntä ja hajutonta. [9, s. 112; 10, s. 3–4]

SF₆-molekyylillä muodostuu yhdestä rikkiatomista, jonka ympärillä on kuusi symmetrisesti asettunutta fluoriatomia. Molekyylirakenteensa ansiosta SF₆-kaasu on erittäin stabiili ja säilyy muuttumattomana noin 500 °C lämpötilaan asti. SF₆-kaasu valmistetaan elektrolyysin avulla. Kaasu on suhteellisen edullista, sillä valmistusprosessi on yksinkertainen. Sähkövoimatekniikassa käytettävien kaasujen epäpuhauksien ylärajat on asetettu standardissa IEC 60376. [9, s. 112; 10, s. 3–4]

Keskustelu SF₆-kaasusta on noussut esille kasvaneen ilmastonmuutoskeskustelun yhteydessä. SF₆ on kasvihuoneilmiötä eli ilmaston lämpenemistä voimistava, ympäristölle haitallinen kaasu. Tämä on mainittu myös Kioton ilmastopöytäkirjassa. SF₆ on noin 23 500-kertaa voimakkaampi kasvihuonekaasu kuin hiilidioksidi (CO₂). [9, s. 113; 10, s. 4–5]

Yksi SF₆-kaasun käyttöön liittyvistä ongelmista on, että se nesteytyy alhaisissa lämpötiloissa ja suuressa paineessa. Nesteytymisen lämpötilaraja nousee kaasun paineen noustessa. Nesteytymistä voidaan ehkäistä lisäämällä SF₆-kaasun tyyppiä tai hiilitetrafluoridia. Suomen olosuhteissa kaasun nesteytyminen on otettava huomioon ja kantaverkkoyhtiö Fingridissä on asetettu SF₆-katkaisijoiden kestävyydelle eri pakkasrajat (-40 °C tai -50 °C), niiden maantieteellisen sijainnin mukaan. [9, s. 113; 11]

SF₆-kaasusta tuli ensisijainen eristekaasu katkaisijatekniikkaan 1980-luvulla. Kaasun käyttö mahdollisti ensimmäisen suurjännitteisen GIS-kojeiston kehittämisen jo 1960-luvulla. SF₆-kaasun veroista eristekaasua ja katkaisuväliainetta ei olla vielä onnistuttu kehittämään. SF₆-kaasu on myös tänä päivänä yleisin eriste ja valokaaren sammutusaine suurjännitekatkaisijoissa. [12, s. 31]

SF₆-kaasun ympäristölle haitalliset ominaisuudet eivät aiheuta ongelmia niin kauan, kun kaasu pysyy suljettujen laitteistojen sisällä. EU:n säätämä F-kaasua-asetus ohjaa SF₆-kaasun käsittelyä unionin alueella ja asettaa myös rajoja

vuotojen seurannalle sekä pätevyysvaatimuksia kaasun käsittelyyn. Suomen kantaverkkoyhtiössä Fingridillä, SF₆ on jatkuvan seurannan alla. Kaikkia Fingridin GIS-kojeistoja online-valvotaan vuotojen varalta. Fingridin ilmaeristeisten kytkinlaitosten SF₆-katkaisijoista 60 % on myös online-valvonnan piirissä. Mahdollisiin vuotoihin puututaan välittömästi. [12, s. 31]

SF₆-kaasua sisältäville laitteille on kuitenkin ominaista, että niistä vuotaa jatkuvasti hyvin pieniä määriä kaasua, noin 0,1–0,2 prosenttia vuositasolla. Euroopan unionin alueella SF₆-päästöt ovat noin 0,15 prosenttia alueen kokonaispäästöistä. [12, s. 31]

Kytkinlaite ja GIS-kojeistojen valmistajat ovat lähteneet kehittämään korvaavaa eristekaasua SF₆-kaasun tilalle, ja valmistajat ovat tuoneet markkinoille joitakin vaihtoehtoisia eristekaasuihin tai paineistettuun ilmaan perustuvia ratkaisuja. Uusien teknologioiden kasvihuoneilmiötä kiihdyttävä vaikutus voi olla lähes 100 % pienempi kuin SF₆-kaasulla. Myös Fingridillä aletaan vähitellen siirtymään SF₆-vapaaseen teknologiaan sitä myötä, kun vanhat kojeistot tulevat käyttökänsä päähän ja niitä aletaan uusimaan. Visiona on, että vuoden 2025 jälkeen asennetut kojeistot on toteutettu ympäristöystävällisellä eristekaasulla. Uudistus koskee 110 kV GIS kojeistoja, uusia eristekaasuratkaisuja ei ole vielä saatavilla suuremman jännitetaso kojeistoille. [13, s. 28–29]

5 Suurjännitekojeistot

Kojeisto (switchgear) on eri rakenteista muodostuva kokonaisuus, joka sisältää kytkentä-, suojaus- sekä ohjaus- ja valvontalaitteita. Kojeistot jaetaan pien-, keski- ja suurjännitekojeistoihin. [7, s. 117]

Suurjännitekojeiston suunnittelussa on huomioitava laitteiden (esimerkiksi katkaisijoiden) huollettavuus. Tämä edellyttää sitä, että laitteet sijoitetaan niin että niiden ympärille jää riittävästi tilaa sekä kulkuteitä. Laitesijoittelussa huomioidaan myös, että kojeistovauriot eivät saa aiheuttaa käyttöhenkilökunnalle vaaraa. Jännitteisten osien minimietäisyydet ympäröiviin rakenteisiin sekä aitaukset

huomioidaan SFS 6001 standardin vaatimusten mukaan. Myös oikosulkuvalo-kaaren leviäminen pyritään estämään mahdollisimman tehokkaasti. Laitteiden sijoittelussa huomioidaan myös se, että niiden väliset virtatiet (köysitykset ja putkitukset) tulevat mahdollisimman lyhyiksi. Suurjännitekojeistot voidaan niiden ominaisuuksien perusteella luokitella ulko- ja sisäkojeistoihin. Kojeistoja voidaan luokitella myös niiden rakenteen perusteella avorakenteisiin- tai koteloituihin kojeistoihin. Luokittelu voidaan lisäksi tehdä kojeistossa käytetyn eristeen perusteella, esimerkiksi ilmaeristeisiin (AIS, air-insulated switchgear) tai kaasueristeisiin (GIS, gas-insulated switchgear) kojeistoihin. [7, s. 117]

6 110 kV avorakenteinen ulkokytkinlaitos

Kytkinlaitoksia tarvitaan, kun on tarve tehdä kytkentöjä, jakaa sähköenergiaa eri johdoille tai rajoittaa vian alaista osaa sähköverkossa. Jännitteiden muuntamisessa tarvitaan myös kytkinlaitoksia, jolloin sähköaseman laajuus käsittää yhden tai usean muuntajan sekä eri jännitetasojen kytkinlaitokset. Kytkinlaitos koostuu kokoojakiskoista, katkaisijoista, erottimista, mittamuuntajista, ohjaus-, suojaus- sekä apusähköjärjestelmistä. Avokytkinlaitos on kustannustehokas ja teknisesti hyvä ratkaisu silloin kun tonttimaata on riittävästi käytettävissä, mikä yleensä on tilanne kantaverkon 110 kV kytkinlaitoksilla. Avokytkinlaitokseen liitytään pääsääntöisesti ilmajohdolla ja suunnittelussa pyritään huomioimaan se, että johdot voitaisiin liittää mahdollisimman kohtisuorasti kytkinlaitoksen pääteportaaleihin. [6, s. 404–409]

Kytkinlaitos koostuu kytkinkentistä, kuten johto-, kiskokatkaisija- tai muuntajakentistä (myös reaktori- ja kondensaattorikentistä). Kytkinlaitokselle liitytään 110 kV voimajohdoilla, jotka päätetään kytkinlaitoksen pääteportaaleihin. Liittyminen kytkinlaitokselle voidaan myös suorittaa suurjännitekaapelilla, joka kytketään kojeistoon kaapelipäätteillä. Portaaleilta tai kaapelipäätteiltä liitytään kytkinkenttien kautta pääkiskostoihin, josta voidaan kiskojärjestelmästä riippuen liittyä johto-, kiskokatkaisija- tai muuntajakenttiin. [7, s. 96–99, 102–108]

Kytkinlaitos sisältää valitusta kiskojärjestelmästä riippuen yhden tai usean kokoojakiskoston. Kiskostoa, johon liitytään katkaisijalla, kutsutaan pääkiskoksi ja kiskostoa, johon liitytään pelkällä erottimella, kutsutaan apukiskoksi. Kiskojärjestelmää valittaessa on huomioitava muun muassa kytkinlaitokselle liitettävien johtojen ja muuntajien määrä, kytkinlaitoksen käytettävyyksivaatimukset sekä mahdolliset laajennettavuusmahdollisuudet. Kantaverkon 110 kV avokytkinlaitoksilla yleisiä kiskojärjestelmiä ovat kisko-apukiskojärjestelmä sekä kaksoiskisko-apukiskojärjestelmä. Avorakenteinen kisko-apukiskolaitos on mahdollista laajentaa kaksoiskisko-apukiskolaitokseksi lisäämällä kytkinlaitokselle toinen pääkisko sekä kiskoerottimet. Apukisko sekä kiskokatkaisijakenttä mahdollistaa huollossa olevan tai vikaantuneen kytkinkentän tilapäisen korvaamisen kiskokatkaisijalla. [6, s. 404–407]

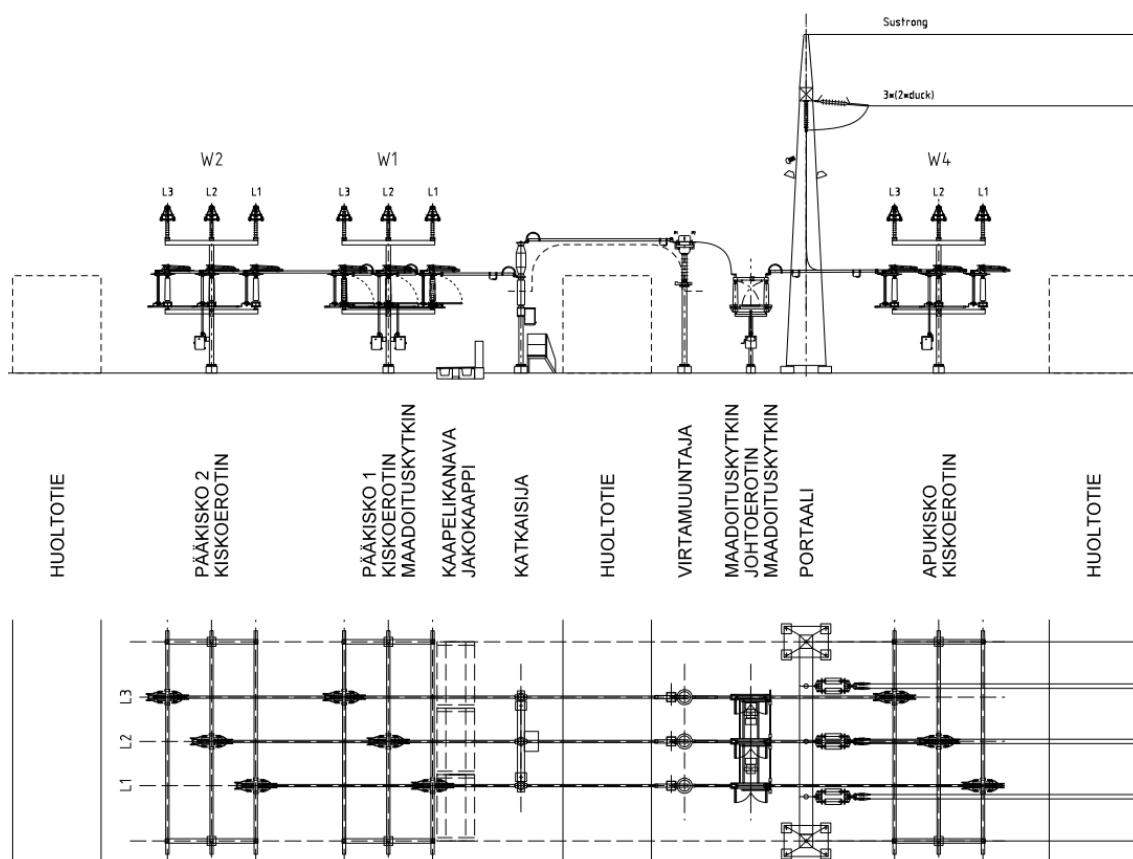
Avorakenteisten kytkinkenttien kojeet asennetaan omille perustuksille sekä terästelineille ja yhdistetään toisiinsa käyttäen joko alumiinisia putkikiskoja tai köysiä. Jännitteiset osat eristetään maadoitetuista osista tukieristimin sekä riittävin ilmväleihin. Kojeiden perustukset ja telineet mitoitetaan kestämään niiden oman painon lisäksi myös mitoitusoikosulkuvirran aiheuttama oikosulkuvoima sekä tuulivoimat. Pääteportaalien mitoituksessa huomioidaan rakenteiden sekä johtimien asennus-, tuuli- ja jääkuormat. Kantaverkon uudet 110 kV kytkinlaitokset mitoitetaan 40/100 kA oikosulkuvirtakestoisuuden mukaan [14]. [6, s. 404–411]



Kuva 3. Jylkkä 110 kV avorakenteinen ulkokytkinlaitos. Fingrid [15]

Kytkinlaitteiden ohjaukset, virta- ja jännitemittaustietojen siirto sekä sähkösyöttö ohjainten moottoreille ja lämmityksille vaativat kaapeloinnin kytkinkenttien sekä valvomorakennuksen apusähkö- sekä toisiojärjestelmien välille. Kaapelit asennetaan valvomorakennuksen ja kytkinlaitoksen välille rakennettavaan kaapelikanavaan. Valvomorakennuksen ja kytkinlaitoksen välistä kaapelimäärää voidaan vähentää asentamalla jokaiseen kytkinkenttään jakokaappi, johon kaapelit tuodaan valvomolta. Jakokaapilta kaapelit vietään kytkinkentän kojeille kaapeliputkissa. Näin valvomorakennuksen ja jakokaappien välinen kaapelointi voidaan toteuttaa pienemmällä määrällä monisäkeisiä kaapeleita. [6, s. 410]

Kytkinlaitoksen kaikki laitteet, teräsrakenteet, portaalit, valvomorakennus, aita yms. yhdistetään koko aidatun sähköasema-alueen kattavaan maahan kaivettuun maadoitusruudukkoon. Myös kytkinlaitokselle liittyvien voimajohtojen ukkosjohtimet liitetään maadoitusruudukkoon muodostaen sähköaseman maadoitusjärjestelmän. Ellei sähköaseman vaarajännitteitä saada pysymään sallituissa raja-arvoissa voidaan päämaadoituksien lisäksi asentaa lisämaadoituselektrodeja. Maadoitusruudukon tyypillinen ruudukkokoko kantaverkon 110 kV sähköasemilla on 10x10 metriä, rakennetulla alueella. Maadoitusruudukon tarkoitus on suojella sähköasemalla liikkuvia ihmisiä vaarallisilta kosketus- sekä askeljännitteiltä. Kytkinlaitoksien ukkossuojaus hoidetaan ukkosköysin sekä mastoin. [6, s. 410–411]



Kuva 4. 110 kV AIS johtokentän leikkaus- sekä pohjapiirustus rakenteineen ja laitteineen, eräs toteutustapa [16]

6.1 Kytkinlaitteet

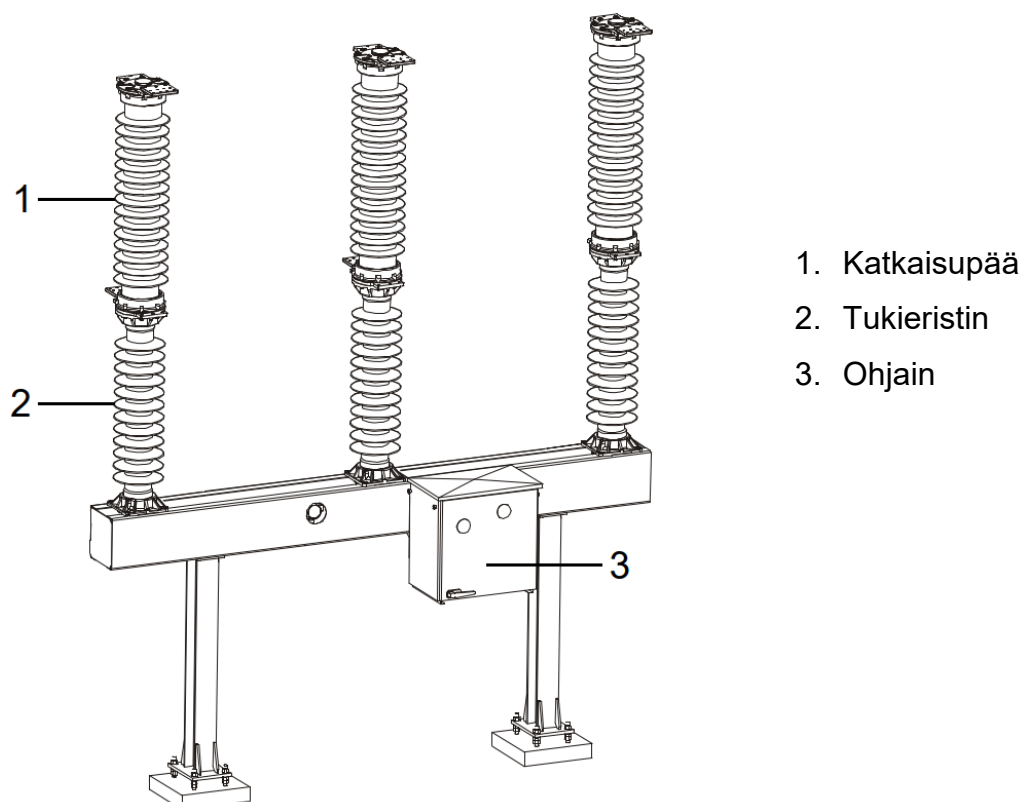
Kytkinlaitteita käytetään suurvoimansiirrossa kytkemään ja erottamaan virtapiirejä toisistaan. Sähköverkossa kytkinlaitteita tarvitaan sähköenergian kulun ohjaamiseen, viallisen verkonosan nopeaan erottamiseen sekä verkon eri osien erotuskohtana toimimiseen. Suurvoimansiirron tärkeimpiä kytkinlaitteita ovat katkaisijat, erottimet sekä maadoituskytkimet. Kytkinlaitteen tehtävästä riippuen laitteilta vaaditaan hyvin erilaisia ominaisuuksia. Suurin ero eri kytkinlaitteiden välillä on niiden virrankatkaisukyky. Kytkinlaitteille on tunnusomaista, että niillä on eri käyttöominaisuuksia vaativa normaalitila sekä toimintatila. Normaali-tilassa kytkinlaite on johtava osa ja toimintatilassa se muuttuu eristeeksi, tai päinvastoin. Kytkinlaitteiden tärkeimpiä ominaisuuksia ovat virrankatkaisukyky, sulkemiskyky, jatkuva virta, oikosulkuvirta, mekaaninen luotettavuus sekä jännite-erasitukset. [6, s. 457; 7, s. 161–162]

6.1.1 Katkaisijat

Katkaisijat (circuit breaker, CB) ovat kytkinlaitteita, joita käytetään virtapiirien avaamiseen ja sulkemiseen. Katkaisijan on oiko- ja maasulkuutilanteessa pystyttävä katkaisemaan sen läpi kulkeva vikavirta, joka voi olla moninkertainen katkaisijan nimellisvirtaan verrattuna. Katkaisijat voivat toimia sekä automaattisesti että käsin ohjattuina. Automaattisessa katkaisutoiminnossa, esimerkiksi oiko- tai maasulkuvirran vaikutuksesta katkaisija saa avautumiskäskyn suojarieleltä, joka on kytketty virtapiiriin mittamuuntajien kautta. Katkaisijan sulkeutuminen voi myös tapahtua automaattisesti esimerkiksi jälleenkytkentäreleistyksen toimesta. Tavallisessa kytkentätilanteessa katkaisijaa ohjataan paikallisesti tai kaukokäytön kautta esimerkiksi valvomosta. [6, s. 457; 7, s. 162–163; 17, s. 3]

Katkaisijoiden tärkeimpiä ominaisuuksia kuvaavat arvot ovat nimellisvirta (jatkuva kuormitettavuus katkaisijan ollessa kiinni asennossa), nimellisjännite (suurin sallittu käyttöjännite), katkaisukyky (oikosulkuvirran katkaisukyky eli suurin virta minkä katkaisija pystyy kolmivaiheisessa napaoikosulussa katkaisemaan), sulkemiskyky (suurin oikosulkuvirta piirissä ilman että katkaisijan koskettimet hitsautuvat katkaisijan sulkiessa piirin oikosulkuun), nimellistaajuus, palaavan jännitteen kestoisuus (koskettimien välinen jännite valokaaren sammumisen jälkeen), nimellinen toimintasykli (kuinka monesta avautumis- ja sulkeutumissyklistä katkaisijan täytyy selviytyä) sekä ohjauspiirien nimellisjännitteet. [6, s. 457; 7, s. 186–189]

Katkaisijan pääosia ovat napa, voimansiirto, tukieristin sekä ohjain. Napa koostuu katkaisijan tukieristimen yläpuolisesta jännitteisestä osasta, jossa sijaitsee katkaisupää sekä liittimet. Koskettimet, joiden avulla avausväli muodostetaan sijaitsevat katkaisukammiossa katkaisupään sisällä. Kosketinpareista toinen on usein liikkuva ja toinen kiinteä. Katkaisupäitä voi olla sarjassa useita kappaleita riippuen katkaisijan jännitetasosta ja käyttötarkoituksesta. [6, s. 458]



Kuva 5. 110 kV live-tank-kaasukatkaisija (SF₆). GE Grid Solutions [18]

Virtapiirin katkaisutapahtumassa virta ei katkea heti katkaisijan koskettimien avautuessa, vaan virtapiiri pysyy suljettuna koskettimien välille muodostuneen valokaaren välityksellä. Valokaari liittyy olennaisesti virran katkaisuun. Suurella virralla valokaaren johtavuus on hyvä, jonka ansiosta koskettimet voivat avautua riittävän etäälle toisistaan, jotta muodostunut avausväli kestää täyden jännitteen valokaaren sammussa. Valokaaren vastus kasvaa virran pienentyessä ja sen resistanssi kasvaa hyvin nopeasti erityisesti virran nollakohdassa, jos valokaarta jäähdytetään sopivasti. Katkaisun aikana syntyvä energia, katkaisutyö, on pidettävä kohtuullisen pienenä, jotta katkaisu onnistuu eikä katkaisija vaurioidu. Katkaisutapahtuman helpottamiseksi vaihtovirtakatkaisijoissa hyödynnetään virran nolakohtia, pidennetään valokaarta, jaetaan valokaari useaan osaan ja valokaarta jäähdytetään mahdollisimman tehokkaasti. Myös valokaaren ympärillä oleva väliaine valitaan niin että se myötävaikuttaa valokaaren sammumiseen. Edellä mainittujen keinojen yhteisvaikutuksesta valokaari saadaan muuttamaan virran nollakohdassa johteesta eristeeksi erittäin lyhyessä ajassa. [7, s. 163–165]

Verkko- ja katkaisutilanteesta riippuen katkaisijaan kohdistuu sen toimiessa erilaisia rasituksia. Katkaisun aikaisiin rasituksiin vaikuttavat katkaistavan virran suuruus, vaihesiirto sekä palaavan jännitteen ominaisuudet. Palaava jännite tarkoittaa katkaisijan koskettimien välistä jännitettä valokaaren sammumisen jälkeen. Verkko- ja katkaisutilanne vaikuttaa suuresti palaavan jännitteen amplitudiin sekä jyrkkyyteen. Valokaari voi sammuttuaan syttyä uudelleen, jos palaavan jännitteen kasvunopeus on riittävän suuri. Tästä johtuen katkaisijoiden välillä on huomioitava, että ne selviävät myös palaavan jännitteen aiheuttamista rasituksista. Induktiivisen virran katkaisu on yleisesti resistiivistä virtaa vaikeampaa. Kapasitiivisen virran katkaisun hankaluutena on palaavan jännitteen kasvaminen suureksi kondensaattoriin jääneiden varauksien vuoksi. Katkaisijoiden vaaditut kestoisuudet näihin rasituksiin määritellään katkaisijastandardeissa. [7, s. 166–168]

Katkaisijat voidaan jaotella eri tyypeihin niiden katkaisukammiossa valokaaren sammuttamiseen käytettävän väliaineen perusteella. Katkaisijat voidaan jaotella seuraaviin ryhmiin: öljykatkaisijat, vähäöljykatkaisijat, paineilmakatkaisijat, kaasukatkaisijat (SF₆-katkaisijat) ja tyhjiökatkaisijat. Toinen tapa jaotella katkaisijoita on tarkastella, sijaitseeko niiden katkaisuyksikkö suurjännitteen potentiaalissa (live-tank) vai maan potentiaalissa (dead-tank). [6, s. 458; 7, s. 168–170; 17, s. 3–5]

Tässä opinnäytetyössä keskitytään kaasukatkaisijoihin. Katkaisijatekniikassa koettiin voimakas murros 1970- ja 1980-luvuilla, joka johti erityisesti SF₆-katkaisijan nopeaan yleistymiseen. Suurjännitetekniikassa SF₆-katkaisijat syrjäyttivät lähes täysin muut katkaisijatyypit. Katkaisijoiden jatkuva kehitystyö on parantanut niiden teknistä suorituskykyä, turvallisuutta ja luotettavuutta sekä pienentänyt niiden huoltotarvetta. Kaasukatkaisijan hyötyjä ovat valokaaren sammutusväliaineen palamattomuus, hyvä valokaaren jäähdytyskyky, suurempi palaavan jännitteen kestokyky yhtä katkaisupäätä kohden sekä suurempi katkaisuteho muihin katkaisijatyyppeihin verrattuna. Kaasukatkaisija on usein myös taloudellisin vaihtoehto suurjännitteellä katkaisupäiden pienemmän lukumäärän ansiosta. Kaasukatkaisijoissa on tähän asti käytetty eristekaasuna SF₆-kaasua, mutta

kytkinlaitevalmistajat ovat viime aikoina alkaneet tuoda markkinoille korvaavia, ympäristöystävällisempiin eristekaasuihin perustuvia vaihtoehtoja [13]. Eräs kaasukatkaisijoiden heikoista puolista on SF₆-kaasun nesteytyminen alhaisissa lämpötiloissa, joka johtaa kaasun tiheyden laskemiseen ja sen eristyslujuuden heikkenemiseen. Nesteytymistä voidaan kuitenkin ehkäistä käyttämällä seoskaasuja, jolloin katkaisijan käyttölämpötila-aluetta voidaan laajentaa aina -50 °C asti. [6, s. 461; 7, s. 170, 177–179]

Kaasukatkaisijat ovat kehittyneet ajan saatossa ja kaasukatkaisijoita voidaan luokitella niissä käytetyn katkaisutekniikan perusteella. Varhaisimmat suurjännite SF₆-katkaisijat (1950-luvun loppupuolella) olivat niin sanottuja kaksipainekatkaisijoita, joissa kaasu johdettiin katkaisuhetkellä korkeapaineosasta matalapaineosaan, jossa katkaisukohta sijaitti. Kaksipainekatkaisijat olivat rakenteeltaan monimutkaisia niissä vaadittujen apulaitteiden vuoksi. Seuraavana kehitysaskeleena olivat yksipainekatkaisijat. Ensimmäiset yksipainekatkaisijat olivat puffer (autopneumaattinen periaate) tyyppiä ja ne tulivat suurjännitekäyttöön 1960-luvun loppupuolella. Puffer tyyppin katkaisijan toimintaperiaate perustuu katkaisijan liikkuvaan koskettimeen kytkettyyn mäntä-sylinteri järjestelmään, jonka avulla saadaan valokaaren kohdistuva kaasuvirtaus katkaisijan avausliikkeen aikana. Puffer toimintaperiaate vaatii suurta ohjausenergiaa, joka asettaa haasteita katkaisijatyypin ohjainsuunnitteluun. 1980-luvulla esiteltiin uuden tyyppinen, self-blast (itsepuhallusperiaate) yksipainekatkaisija. Self-blast tyyppin kaasukatkaisijassa valokaaren aiheuttamalla kaasupaineen nousulla saadaan aikaan valokaarta jäähdyttävä kaasuvirtaus käyttäen katkaisukammiossa olevia venttiilejä. Myös katkaisijan aukiohjautuminen tehostuu paineen noususta. Self-blast-tekniikkaan perustuvan katkaisijan ohjain on kevytrakenteisempi, sillä se vaatii pienemmän ohjausenergian puffer tyyppin verrattuna. Tyypillinen kantaverkon 110 kV katkaisija perustuu self-blast-tekniikkaan. Edellä mainittujen katkaisijatyypien lisäksi markkinoille on kehitetty muitakin kaasukatkaisijatekniikoita. Näitä ovat esimerkiksi kaksoisliikekatkaisijakammio (double motion interruption chamber), joka on suunnattu kaikista suurimmille katkaisukykyvaatimuksille, sekä valokaarta pyörittävään tekniikkaan perustuvat katkaisijat (rotating-

arc technology), joita käytetään keskijänniteverkoissa. [6, s. 461–462; 7, s. 179–180; 19, s. 207–222]

Katkaisijan ohjaimen tehtävänä on tuottaa tarvittava liike-energia katkaisupäälle. Liike-energia tuotetaan sähkömoottorilla mutta sitä voidaan varastoida eri tavoin. Yleisimmin käytettävässä ohjaintyyppissä, moottorijousiohjaimessa, tarvittava ohjausenergia on varastoitu jousiin. Toinen ohjaintyyppi on hydrauliohjain, jossa ohjausenergia varastoidaan painevaraajaan. Järjestelmän käyttöpaine muodostetaan hydraulipumpulla. Hydrauliohjaimelliset katkaisijat ovat vanhempaa tekniikkaa ja ne ovat vähitellen poistumassa kantaverkon kytkinlaitoksilta. On olemassa myös servomoottoriohjattuja katkaisijoita, joissa servomoottorit tuottavat tarvittavan liike-energian suoraan, jolloin perinteistä ohjainta ei tarvita. [6, s. 462; 20]

Kantaverkon uusille 110 kV katkaisijoille on määritetty seuraavia nimellisarvoja: nimellisvirta 3150 A (johto-, muuntaja- ja kiskokatkaisijat) tai 4000 A (kokoojakiskojen pitkittäiskatkaisijat), katkaisukyky 40 kA ja sulkemiskyky 100 kA. Nimellisjännite on määritetty 123–145 kV. [11; 14; 20]

6.1.2 Erottavat katkaisijat

Erottava katkaisija (disconnecting circuit breaker, DCB) on katkaisija, jossa sekä erottimen että katkaisijan ominaisuudet yhdistyvät yhteen kytkinlaitteeseen. Erottavan katkaisijan alanapaan on mahdollista lisätä myös maadoituskytkimet, jolloin kytkinkentän laitemäärä sekä tarvittava asennuspinta-ala pienenee huomattavasti perinteiseen toteutustapaan verrattuna. Erottavien katkaisijoiden IEC standardi 62271–108 nojautuu vahvasti katkaisijan ja erottimen standardeihin mutta asettaa myös erityisvaatimuksia erottavien katkaisijoiden laitesuunnitteluun sekä tyyppitestaamiseen. [6, s. 464–465; 7, s. 185–186; 17, s. 11–12]

Erottavan katkaisijan katkaisukammion avausväli rakennetaan niin pitkäksi, että katkaisija täyttää auki ollessaan myös standardeissa asetetut koejännitevaatimukset erottimen avausvälille. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että erottavat

katkaisijat rakennetaan nimellisarvoiltaan suuremmilla katkaisukammioilla. Erottava katkaisija varustetaan asennonosoituksella sekä integroidulla lukitustoiminnolla, jolla estetään katkaisijan kiinniohjautuminen, kun lukitus on päällä. Ainoa erotinominaisuus joka erottavalta katkaisijalta puuttuu, on näkyvä avausväli, mutta tapaturmien vaara estetään, kun turvallisuusmääräyksiä noudatetaan tarkasti. [6, s. 464–465; 7, s. 185–186]

Erottaville katkaisijoille syntyi tarve, kun katkaisijatekniikan edistyessä katkaisijoiden huoltoväli on pidentynyt huomattavasti ja niiden vikataajuus on laskenut. Tämä on johtanut siihen, että erottimista on tullut kytkinlaitoksien lyhimmän huoltovälin kytkinlaitteita ja erottimien tarve katkaisijahuoltojen mahdollistamiseksi on vähentynyt. Erottavalla katkaisijalla voidaan myös suorittaa erottimen muut toiminnot kuten johtojen tai muuntajien erottamisen verkosta. Näkyvän avausvälin puuttumisen takia katkaisijahuolto on kuitenkin hankalampaa erottavien katkaisijoiden tapauksessa. Huollon suorittamisen ajaksi katkaisija on erotettava näkyvästi sekä kokoojakiskoston että lähdön (johdon tai muuntajan) puolelta. Erottimien puuttuessa avausväli on toteutettu irrottamalla sekä kiskoston että lähdön puolelle rakennetut kiinteät ja nopeasti avattavissa olevat erotusvälit. [7, s. 185–186; 17, s. 11–12]

Nykyään erottavia katkaisijoita on saatavilla 72,5–550 kV jännitealueelle [21]. Fingrid on laatinut omat spesifikaatiot myös erottavien katkaisijoiden hankintaa varten, joissa on standardin asettamien tyyppitestivaatimuksien lisäksi määritelty esimerkiksi erillisiä jääkestoisuuteen liittyviä luotettavuus- ja toiminnallisuusvaatimuksia. Erottavia katkaisijoita on asennettu kantaverkon 110 ja 400 kV jännitetasoille, Fingridin 400 kV kytkinlaitoksilla ne ovat perusratkaisu. [20; 22]

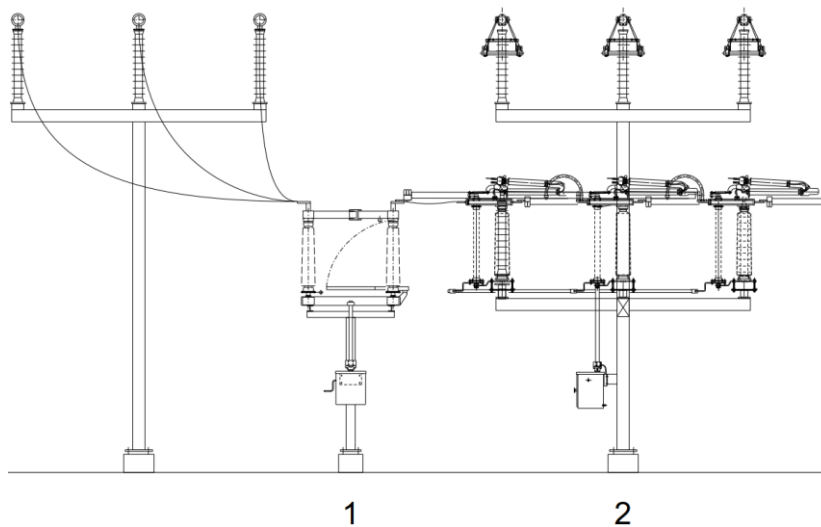
6.1.3 Erottimet

Erottimen (disconnector) tehtävä on muodostaa turvallinen ja luotettava avausväli erotetun virtapiirin ja muun verkon osan välille, sekä tehdä kytkinlaitoksen osa jännitteettömäksi, jotta siellä on turvallista työskennellä. Erottimen

muodostaman avausvälin tulee olla näkyvä, tai tilatieto tulee osoittaa luotettavalla mekaanisella asennonosoituksella. Erottimen avausvälille asetetaan suurempi jännitelujuusvaatimus kuin muille ympäröiville eristyksille, kuten vaiheen ja maadoitetun osan välille. Erottimilta ei vaadita virran katkaisu- tai sulkemiskykyä sillä niitä ei ole tarkoitettu kuormitetun virtapiirin avaamiseen tai sulkemiseen. Erottimen on oltava lukittavissa sekä auki- että kiinniasentoon jotta erottimen vaaraa aiheuttava käyttö voidaan estää. Erottimen on kiinniasennossa kyettävä johtamaan järjestelmän kuormitus sekä oikosulkuvirrat. [6, s. 466; 7, s. 190]

Eroottimet mitoitetaan yleensä virtakestoisuusvaatimuksiltaan kytkinlaitoksien todellisia kuormitus- ja oikosulkuvirtoja suuremmaksi. Suomen kantaverkossa 110 kV erottimien nimellisvirrat on määritetty erottimen käyttökohteesta riippuen 1600–3150 A väliin. Alhaisten käyttölämpötilojen (-40 °C / -50 °C) kestoisuuden lisäksi kantaverkkoon asennettavilta erottimilta vaaditaan myös kykyä murtaa 20 mm paksuinen jääkerros niin auki- kuin kiinniohjauksen yhteydessä, ilman että erotin vaurioituu. [7, s. 192; 23]

Eroottimet luokitellaan eri kategorioihin ja alakategorioihin niiden rakenteen, toimintaperiaatteen (kierto- vai tartuntaerotin) ja avautumissuunnan (vertikaalinen vai horisontaalinen) mukaan. Sopiva erotintyyppi valitaan aina käyttökohteen mukaan. Kantaverkon 110 kV jännitetasolla yleisiä erotintyyppejä ovat kaksipilariset vaakatasossa liikkuvat kiertoerotimet, saksierottimet, eli pantografierottimet sekä vertikaaliset polvierottimet. Kaikki edellä mainitut erotintyypit voidaan tarvittaessa varustaa maadoituskytkimillä. [6, s. 467–468; 7, s. 193–195]



Kuva 6. 110 kV erottimia. 1: kaksipilarinen vaakatasossa liikkuva kiertoerotin, varustettu maadoituskytkimellä. 2: vertikaalinen polvierotin. Fingrid [24]

6.1.4 Maadoituskytkimet

Maadoituskytkimet (maadoituserottimet, earthing switch) ovat erottimiin sekä erottaviin katkaisijoihin liittyviä kytkinlaitteita. Maadoituskytkimiä käytetään työmaadoitusten ohella jännitteettömän työkohteen oikosulkukestoiseen maadoittamiseen turvallista työskentelyä varten. Maadoituskytkimet ohjataan kiinni ennen työmaadoitusten tekoa. Maadoituskytkimiä voidaan asentaa erottimen toiselle tai molemmille puolille. Kytkinlaitoksien kokoojakiskojen maadoittamiseen käytetään lisäksi erillisiä kiskostoille asennettavia kiskomaadoituskytkimiä. [6, s. 457, 466; 7, s. 190–191]

6.2 Mittamuuntajat

Mittamuuntajat ovat erikoisrakenteisia muuntajia, joita käytetään jännitteen tai virran mittaamiseen. Mittamuuntajien tärkeimpiä tehtäviä on jännitteen tai virran muuntaminen suojalaitteille sopivalle tasolle, mahdollistaa mitta- ja suojalaitteiden standardointi määrättyihin nimellisarvoihin, mittauspiirin eristäminen suurjännitteisestä päävirtapiiristä sekä mittareiden suojaaminen ylikuormituksilta. Mittamuuntajilla mahdollistetaan myös mittareiden ja releiden sijoittaminen kauas mittauspaikasta. [6, s. 440; 7, s. 198]

Mittamuuntajien on toistettava mittaamansa jännite tai virta mahdollisimman tarkasti. Tyhjäkäyntivirrat ja käämityksien hajaimpedanssit vääristävät kuitenkin mittaustuloksia ja näiden vaikutukset näkyvät mittamuuntajien virta-, jännite- tai kulmavirheinä. Suurin osa mittamuuntajista perustuu sähkömagneettisen induktion. Jännitemittauksessa käytetään lisäksi myös kapasitiivisia jännitemuuntajia sekä virtamuuntajiin sijoitettuja kapasitiivisia ulosottoja. Tässä opinnäytetyössä ei käsitellä optisia tai yhdistelmämittamuuntajia. [7, s. 198]

6.2.1 Virtamuuntajat

Virran mittaaminen on jännitteen mittaamista haastavampaa, sillä virran vaihtelu on paljon suurempaa. Vikavirrat voivat myös olla moninkertaisia jopa useita kymmenkertaisia verrattuna normaaliin kuormitusvirtaan. Vikavirroissa esiintyvä tasakomponentti on myös haasteellinen mittauksen kannalta. Virtamuuntajat jaetaan mittaus- sekä suojaustarkoituksiin valmistettuihin virtamuuntajiin. Virtamuuntaja tarvitsee jännitemuuntajasta poiketen eri sydämet suojaus, ja mittaus-tarkoituksiin sillä virtamuuntajan vaatimukset ovat erilaisia suojaus ja mittaus-tarkoituksissa. Virtamuuntajille on tyypillistä, että samassa laitteessa on useita eri sydämiä. Tämä on mahdollista sillä virtamuuntajan sydämet eivät häiritse toisi-aan eikä suojaus- ja mittaus-tarkoituksia varten tarvita erillisiä virtamuuntajia, riit-tää että yhdessä virtamuuntajassa on erilaiset sydämet. Kantaverkossa käyte-tyissä 110 kV virtamuuntajissa on tyypillisesti yksi mittaussydän ja kolme suo-jaussydäntä. Virtamuuntajille voidaan myös määrittää useampia eri muuntosuh-teita jakamalla virtamuuntajan ensiökäämi kahteen osaan ja kytkemällä nämä sarja- tai rinnankytkentään tai varustamalla toisiokäämitys väliulosotoilla. Virta-muuntajan toisiopiirin yksi piste on maadoitettava (kuten jännitemuuntajassa-kin). [6, s. 447; 7, s. 198–205, 211; 25, s. 157–163]

Ulos asennettavat virtamuuntajat ovat tyypillisesti öljytäytteisiä ja hermeettisesti suljettuja. Lämpötilavaihteluista johtuvan öljyn tilavuuden muutoksien takia virta-muuntaja varustetaan paisuntatilalla. On olemassa myös SF₆-täytteisiä virta-muuntajia. Virtamuuntajan ensiökäämi ja sydänosat voivat rakennetyypistä riip-puen olla maan potentiaalissa olevassa kotelossa (hair-pin-rakenne) tai

suurjännitteen potentiaalissa olevassa virtamuuntajan yläosassa (top-core-rakenne). [7, s. 211]

Kantaverkon 110 kV avokytkinlaitoksilla kytkinkenttien virtamuuntajat sijoitetaan ohikytkennän sisäpuolelle, katkaisijan ja johtoerottimen väliin. Virtamuuntajien sijoitus ohikytkennän sisäpuolelle on peräisin ajalta, jolloin Suomen siirtoverkko oli harvaan silmukoitu, jolloin johdolla eli kytkennän ulkopuolella sijaitsevan virtamuuntajan vikaantuminen olisi johtanut pitkään johtokeskeytykseen. Ohikytkennän sisäpuolella sijaitseva virtamuuntaja voidaan myös huoltaa ilman johtokeskeytystä ohikytkemällä kytkinkenttä kiskokatkaisijalla. Sijoittelun haittapuolena on relesuojauksen monimutkaistuminen ohikytkennässä, jonka takia muuntajakenttien virtamuuntajat sijoitetaan ohikytkennän ulkopuolelle, eli johdon puolelle, jolloin lähdön suojaus pysyy muuttumattomana ohikytkennässäkin. [7, s. 109–110; 14]

Kantaverkossa käytettävät 110 kV virtamuuntajat varustetaan kapasitiivisella jänniteulosotolla, ne ovat öljytäytteisiä ja useimmiten top-core-rakenteisia. Ensiovirrat ovat virtamuuntajan käyttötilanteesta riippuen (300)-600-1200 A (johtokentät) tai 1500-3000 A (kiskokatkaisija- ja muuntajakentät). Toisiovirta on nykyään 1 A. [26; 27]



Kuva 7. Virtamuuntajia Vajukosken 110 kV kytkinlaitoksella. Fingrid [28]

6.2.2 Jännitemuuntajat

Jännitemuuntajien tehtävä on syöttää jännite mittareille (mittaus) sekä releille (suojaus), ja eri tehtävät asettavat erilaisia vaatimuksia jännitemuuntajille. Jännitemuuntajissa on usein yksi rautasydän, jota käytetään sekä mittaus- että suojaustarkoitukseen ja täyttää näiden asettamat vaatimukset. Maasulkusuojausta varten jännitemuuntaja voidaan myös varustaa avokolmiokäämityksellä. Jännitemuuntajan ensiökäämitys on yhteinen. Mittarit ja suojarleet kytketään rinnan jännitemuuntajan toisioon ja toisiopiiriin yksi piste on maadoitettava, ettei toisioon siirry vaarallisia ylijännitteitä. [6, s. 440–441; 7, s. 215–217]

Kolmivaiheinen jännitemuuntajaryhmä koostuu tavallisesti kolmesta yksivaiheisesta jännitemuuntajasta. Jännitemuuntajat ovat toimintaperiaatteeltaan induktiivisia tai kapasitiivisia. Induktiivisia jännitemuuntajia käytetään pääsääntöisesti alle 245 kV jännitetasoilla. Induktiivinen jännitemuuntaja muistuttaa rakenteeltaan magneettista virtamuuntajaa. Vaiheen ja maan väliin kytkettävät jännitemuuntajat ovat yksinapaisesti eristettyjä sillä ensiökäämin toinen pää on maadoitettava. Kapasitiivinen jännitemuuntaja muodostuu kapasitiivisesta jänniteenjakaajasta ja induktiivisesta jännitemuuntajasta, jolla jännite alennetaan sopivalle tasolle. Suurjännitteiset jännitemuuntajat ovat usein öljyeristeisiä, myös SF₆-eristeisiä jännitemuuntajia valmistetaan. [7, s. 217–218]

Suomen kantaverkon 110 kV kytkinlaitoksilla jännitemuuntajat on taloudellisista syistä ollut tapana sijoittaa ainoastaan kokoojakiskoille. Kiskolle sijoittamisen riskinä on, että jännitemuuntajavika (hyvin harvinaista) aiheuttaa kiskovian, jolloin kaikki kiskolle liittyvät johdot on laukaistava. Kantaverkon 110 kV ulos asennettavat jännitemuuntajat ovat öljyeristeisiä, induktiivisia ja niiden nimellisenä jännite on $110/\sqrt{3}$ kV. Nimellistoisiojännite on $0,1/\sqrt{3}$ kV, kun ensiökäämitys on kytketty vaiheen ja maan väliin. Avokolmioon kytkettävien käämien nimellisenä jännite on $0,1/3$ kV. [6, s. 442; 7, s. 109, 217; 27; 29]



Kuva 8. Kiskojännitemuuntajia Uusnivalan 110 kV kytkinlaitoksella. Fingrid [30]

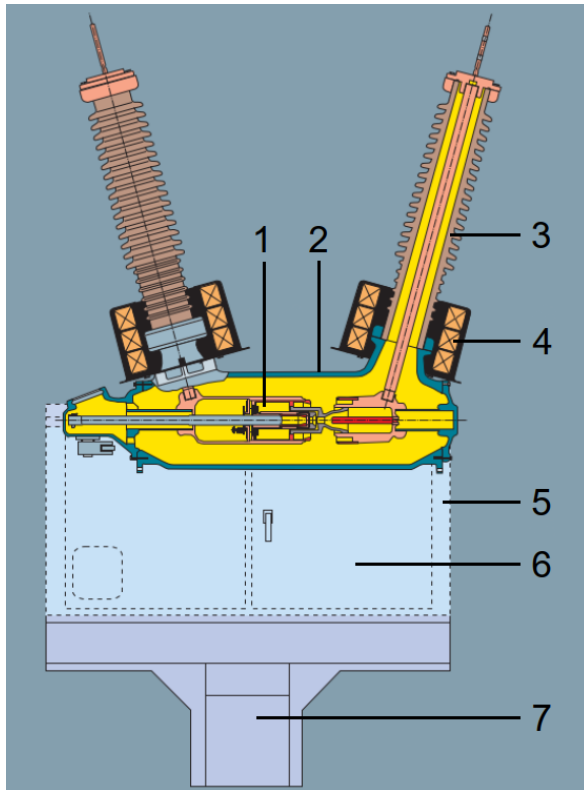
6.3 Suojusjärjestelmät ja suojarleet

Verkon laitteita suojataan mittamuuntajista, suojarleistä ja katkaisijoista muodostuvalla kokonaisuudella. Tiedonsiirto suojaukseen liittyvien laitteiden välillä toteutetaan johtimilla tai valokuiduilla. Tiedonsiirtoa laitteiden välillä tarvitaan, jotta suojaus toimii ja vikaantunut osa voidaan irrottaa verkosta. Suojauksen tarkoituksena on havaita viat tai epänormaali toiminta sähköverkossa, jotta ne voidaan selvittää tai saada loppumaan. Suojarleet ovat mittaavia releitä ja osa suojausjärjestelmää. Oiko- tai maasulun sattuessa vikaantunut osa erotetaan muusta sähköjärjestelmästä, jotta se ei aiheuta vaaraa tai riko sähköverkon laitteita. Tehonsiirto verkon muissa osissa voi jatkua, kun suojaus on irrottanut vikaantuneen verkonosan. Oiko- ja maasulkutilanteissa vikavirrat ovat niin suuria, että vikakohta on erotettava muusta verkosta nopeasti. Siirtoverkon viat voivat johtaa suurhäiriöön, joten erottamalla viallinen osa nopeasti voidaan turvata muun verkon mahdollisimman laajamittainen käyttö myös vian aikana ja taloudelliset menetykset ovat pienempiä. [7, s. 335–336]

Hyvin toteutetun relesuojauksen on oltava nopea, selektiivinen, luotettava ja herkkä. Sen on myös toimittava epänormaaleissa käyttötilanteissa. Suojareleet tarkkailevat niille asetettuja suureita ja ovat normaalitilassa, kun niiden tarkkaileman suureen arvo ei sivuuta niille aseteltua toiminta-arvoa. Rele havahtuu, kun sen tarkkailema suure sivuuttaa toiminta-arvon ja jos rele on havahtuneena riittävän pitkään se antaa katkaisijalle laukaisukäskyn, lähettää hälytyksen tai kummatkin. Aikaa vian havaitsemisen ja laukaisukäskyn tai hälytyksen välillä kutsutaan releen toiminta-ajaksi. Rele palautuu sen toimittua tai jos mittaus suure poistuu releen toiminta-alueelta. Aikaa vian havaitsemisen ja vikapaikan erottamisen välillä kutsutaan erotusajaksi. [7, s. 342–344]

7 Dead-tank-katkaisija

Kaikki Fingridillä käytettävät suurjännitekatkaisijat ovat live-tank-tyyppiä. Live-tank-katkaisijan katkaisuyksikkö sijaitsee suurjännitteen potentiaalissa, ratkaisu on yksinkertainen ja kustannustehokas. Dead-tank-katkaisijassa katkaisuyksikkö sijaitsee erillisessä, maan potentiaalissa olevassa kotelossa ja katkaisija liitetään virtapiiriin suurjännitteisten (kaasueristeisten) läpivientieristimien kautta. Dead-tank-katkaisijat ovat kaasukatkaisijoita. Kyse ei ole uudesta tekniikasta, sillä Westinghouse valmisti ensimmäisen suuren oikosulkuvirran katkaisuun kykenevän SF₆-eristeisen dead-tank-katkaisijan jo vuonna 1959. Kyseisen katkaisijan katkaisukyky oli 41,8 kA 138 kV jännitteellä ja 37,6 kA 230 kV jännitteellä. Katkaisijan suorituskyky oli aikaansa nähden merkittävä mutta suuri määrä katkaisuyksiköitä sekä korkea kaasupaine asettivat ratkaisulle rajoituksia ja sitä oli kehitettävä. [6, s. 458; 19, s. 207; 31]



1. Katkaisuyksikkö
2. Kotelo
3. Läpivientieristin
4. Virtamuuntaja
5. Runko
6. Ohjauskaappi
7. Jalka

Kuva 9. Dead-tank-katkaisijan leikkaus ja osat. Siemens Energy [32]

Dead-tank-katkaisijoiden rakenne mahdollistaa sen, että niiden läpivientieristimien yhteyteen voidaan liittää tarvittaessa suurikin määrä virtamuuntajasydämiä. Läpivientieristimien yhteyteen asennettavat virtamuuntajat ovat rengasvirtamuuntajatyyppejä, ja ovat taloudellisia hankkia. Jos virtamuuntajat sijoitetaan samaan laiteyksikköön katkaisijan kanssa, säästetään kytkinkentältä virtamuuntajien vaatima tila sekä rakenteet (perustukset, telineet ja virtatiet). Virtamuuntajat voidaan tarvittaessa sijoittaa katkaisuyksikön kummallekin puolelle, josta voi olla hyötyä tietyissä tilanteissa. Dead-tank-katkaisijoiden käyttö on yleistä varsinkin Yhdysvalloissa. Dead-tank-katkaisijoita on mahdollista käyttää johto-, muuntaja-, reaktori- sekä kondensaattorikatkaisijoina. Käyttötarkoituksen erityispiirteet saattavat vaikuttaa katkaisijan rakenteeseen, esimerkiksi reaktorikatkaisijaan kohdistuvia ylijänniteongelmia voidaan hallita tarkoitukseen soveltuvilla metallioksidivaristoreilla. [7, s. 169–170; 33]



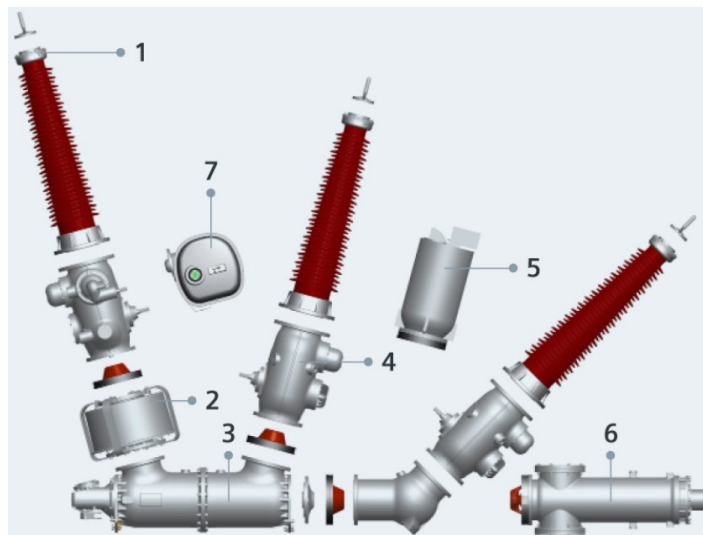
Kuva 10. 145PM40-SD, 145 kV dead-tank-katkaisija. Hitachi ABB Power Grids [33]

8 Hybridikojeistot

Kaasueristeiset hybridikojeistot ovat ulos asennettavia modulaarisia ja kompakteja kojeistoja, joissa dead-tank-katkaisijan yhteyteen on integroitu muitakin kytkinkentän laitteita. Hybridikojeistomoduulit ovat periaatteessa ulos asennettavia yksinkertaisia GIS-laitoksia, jotka ovat suoraan asennuskelpoisia tehtaalta valmistuessaan. Kaasueristeinen (SF_6) hybridikojeistomoduuli voidaan liittää ilmaeristeisiin kokoojakiskostoihin, voimajohtoihin, muuntajiin ja niin edelleen, ja se voi muodostaa yksi- tai kaksikiskojärjestelmän kokonaisen kytkinkentän kaikine tarvittavine laitteineen (katkaisija, erottimet, maadoituskytkimet, virtamuuntajat sekä jännitemuuntajat). Hybridikojeistoista valmistetaan useita eri variaatioita ja niitä varustellaan asiakkaiden yksilöllisten tarpeiden mukaisilla laitekonfiguraatioilla. On myös saatavilla ratkaisuja, jossa yhteen hybridikojeistomoduuliin on sovitettu kaksi katkaisijaa. Myös moduulin yksi läpivientieristinryhmä voidaan tarvittaessa korvata suoraan kojeistomoduuliin asennettavilla kaapelipäätteillä, suurjännitekaapeliliityntää varten. Ratkaisu, jossa kaasueristeisillä hybridikojeistomoduuleilla liitytään ilmaeristeisiin kokoojakiskostoihin, on eräänlainen kaasueristeisen kytkinlaitoksen sekä ilmaeristeisen avokytkinlaitoksen

yhdistelmä (hybridi). Hybridilaitosta käyttämällä voidaan säästää yli puolet tavanomaisen avokytinlaitoksen vaatimasta tilasta. [7, s. 113–115; 34]

Eri laitevalmistajat käyttävät eri termejä hybridikojeistoistaan, usein puhutaan hybridi- tai kompaktikojeistoista tai näiden yhdistelmistä, esimerkiksi: HYpact – Hybrid Compact Switchgear Assembly (GE Grid Solutions), DTC – Dead Tank Compact (Siemens Energy) ja PASS – Plug And Switch System, High-voltage hybrid switchgear (Hitachi Energy). Tässä opinnäytetyössä laitteista käytetään termiä hybridikojeisto. Hitachi Energyn (ent. ABB) ensimmäinen PASS-hybridikojeisto tuli markkinoille vuonna 1999 ja niitä valmistetaan nykyään jännitetasoille 72,5–420 kV. [35; 36; 37]



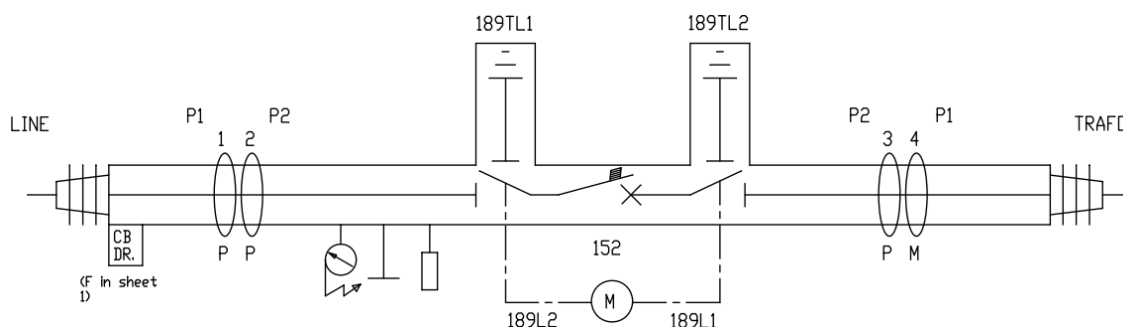
1. Läpivientieristin
2. Virtamuuntaja
3. Katkaisija
4. Erotin/maadoituskytkin
5. Jännitemuuntaja
6. Kaapelipääte
7. Nopeatoiminen maadoituskytkin

Kuva 11. 3AP1 DTC compact switchgear, 145 kV hybridikojeistomoduli (kaksoiskiskoratkaisu) ja siihen liitettäviä laitteita. Siemens Energy [38]

Hybridikojeistoissa käytettävät laitteet, esimerkiksi kaapelipäätteet tai jännitemuuntajat on suunniteltu täyttämään kyseisille laitteistoille asetettujen IEC standardien vaatimukset. Yli 52 kV jännitetason kompakteille kojeistoille on myös oma IEC standardi, IEC 62271-205:2008 (High-voltage switchgear and controlgear - part 205: compact switchgear assemblies for rated voltages above 52 kV). Standardissa määritellään tyyppitestejä yksittäisten laitteiden lisäksi myös niistä muodostuvalle kojeistomodulille kokonaisuudessaan. Hybridikojeistoissa

käytetyt laitteet tyyppitestataan erikseen sekä kokonaisuutena niitä koskevien standardien mukaisesti. [35; 36]

Nimellisjännitteeltään 123–145 kV hybridikojeistomoduuleja on saatavana 3150 A katkaisijan (dead-tank-katkaisija) nimellisvirralla ja 40 kA katkaisukyvyllä. Katkaisijoiden toimintaperiaatteita on erilaisia riippuen laitevalmistajasta, mutta useat perustuvat itsepuhallusperiaatteeseen, ja ohjaintyyppinä käytetään usein moottorijousiohjainta. Erotin- ja maadoituskytkinvariaatioita on useita mutta erottimet ja maadoituskytkimet ovat tyypillisesti yhdistetty yhteen kolmiasentoiseen kytkinlaitteeseen. Erotin/maadoituskytkin varustetaan asennonosoituksella sekä lukitustoiminnolla. Hybridikojeistomoduuli on myös mahdollista varustaa nopeatoimisilla maadoituskytkimillä tai ulkoisilla maadoituskytkimillä, joilla kojeisto voidaan keskeytyksen aikana maadoittaa näkyvästi turvallista työskentelyä (esimerkiksi huoltoa) varten. Virtamuuntajat ovat rengasvirtamuuntajatyyppejä ja ne asennetaan koteloinnin päälle, usein läpivientieristimien yhteyteen. Mikäli virtamuuntaja on sijoitettu suoraan läpivientieristimen alaosaan, on se mahdollisen vikaantumisen sattuessa usein mahdollista vaihtaa liu'uttamalla vikaantunut virtamuuntaja läpivientieristimen yli, eikä hybridikojeistomoduulin avaavaa huoltoa tarvita. Jännitemuuntajat ovat induktiivisia ja niiden sijoitteluun on useita vaihtoehtoja, jännitemuuntajat voidaan myös sijoittaa katkaisijan molemmin puolin. Jännitemuuntajat ovat kaasueristeisiä ja ne sijoitetaan usein omaan, erilliseen kaasutilaan. [35; 36; 37; 39]



Kuva 12. PASS hybridikojeistomoduulin yleiskaavio. ABB [40]

Kuvassa 12 esitetään erään PASS hybridikojeistomoduulin yleiskaavio. Kyseistä kojeistoa käytetään muuntajan liittämiseen verkkoon ja se sisältää dead-

tank-katkaisijan lisäksi katkaisijan kummallekin puolelle sijoitetut yhdistetyt erotimet/maadoituskytkimet sekä virtamuuntajat. Johdon puolen virtamuuntajien sekä erottimen/maadoituskytkimen väliin on sijoitettu kaasupaineanturi, murtolevy, joka toimii ylipaineen purkauskohtana sekä kaasun täyttöön ja tyhjennykseen käytettävä liitin. [40]

Hybridikojeistomodulit varustetaan kaasupaineantureilla, joilla kojeistoa valvotaan kaasuvuotojen varalta. Jotkin valmistajat takaavat laitteiden jatkuvaksi kaasuvuodoksi alle 0,1 % vuositasolla. [39; 41]

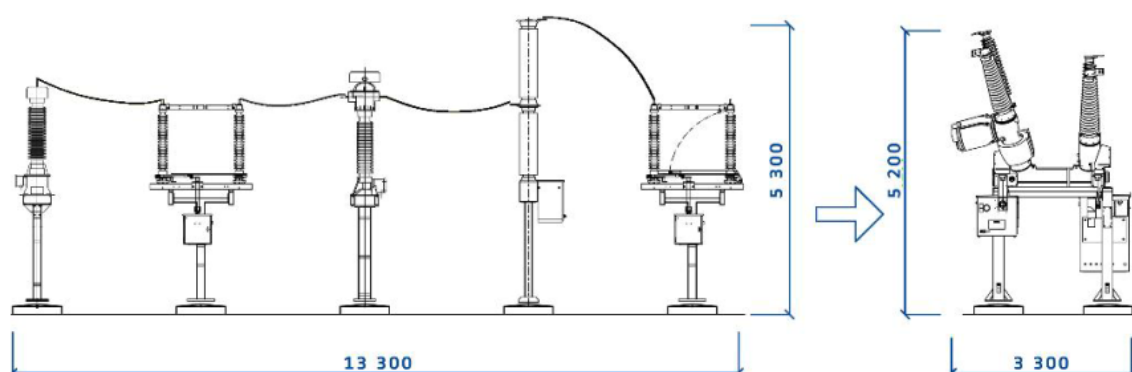
Alhaisille käyttölämpötiloille laitteita (145 kV jännitetasolle asti) on saatavilla dead-tank-katkaisijoissa -50 °C käyttölämpötilaan asti käyttämällä seoskaasua (SF₆/CF₄). Hybridikojeistoissakin päästään laitevalmistajasta riippuen seoskaasulla -50 °C käyttölämpötilaan, lisäämällä kojeistoon lämmittimiä jopa -60 °C käyttölämpötilaan asti. [42; 43]



Kuva 13. Kaapelipäättein varustettu PASS hybridikojeistomoduli. ABB [41]

8.1 Miksi käyttää hybridikojeistoa?

Hybridikojeistomoduuleja käyttämällä voidaan säästää ratkaisusta riippuen jopa 50–70 % tarvittavasta pohjapinta-alasta verrattuna siihen, että sama ratkaisu toteutettaisiin perinteisillä ulkokytkinlaitoksilla käytettävillä laitteilla. Pienempi pohjapinta-ala vaikuttaa myös siihen, että maanrakennustöissä voidaan säästää kustannuksia. Kun useat tai peräti kaikki kytkinkentän laitteet toteutetaan yhdellä kojeistomoduulilla, säästetään kustannuksia myös laitteiden perustuksissa, terästelineissä sekä virtateissä. Suurjännitekaapeliliitynnässä säästytään myös erillisten kaapelipäätetelineiden sekä niiden perustuksien rakentamiselta, kun kaapelilla voidaan liittyä suoraan kojeistoon. Kompakti laitekokonaisuus mahdollistaa myös sen, että kytkinkentän toisiokaapelointireitit ei tarvitse kaivaa kuin yhteen paikkaan useiden sijaan. Koska hybridikojeistojen kytkinlaitteet ovat suojassa kaasueristeisen koteloinnin sisällä eivät ne pääse altistumaan asennusympäristönsä mahdollisille saasteille tai lialle, ja soveltuvat tästä syystä hyvin asennettavaksi esimerkiksi tehdas- tai teollisuusalueille. Laittevalmistajien mukaan hybridikojeistomoduulin kokonaiselinkaarikustannukset ovat pienemmät kuin vastaavassa, perinteisin ulkokytkinlaitoksen laittein toteutetussa ratkaisussa. [7, s. 113–115; 34; 35; 37; 44]



Kuva 14. Avorakenteisen kytkinkentän laitesijoittelu ja sen vaatima tila verrattuna vastaavan laitekonfiguraation hybridikojeistomoduuliin. GE Grid Solutions [35]

Kuvassa 14 on vasemmalla puolella esitetty erään toteutustavan mukaisen avorakenteisen kytkinkentän laitesijoittelu ja sen vaatima asennusleveys 13,3 m. Kytkinkentän laitteet ovat vasemmalta luettuna jännitemuuntaja, erotin,

virtamuuntaja, katkaisija sekä maadoituskytkimellä varustettu erotin. Kuvan oikealla puolella on esitettyä samoilla kytkinkentän laitteilla varustettu hybridikojeistomoduli (HYpact, GE Grid Solutions) jonka leveys on ainoastaan 3,3 m. Hybridiratkaisussa myös perustusten ja terästelineiden määrä on huomattavasti pienempi. [35]

Hybridikojeistoja käyttämällä voidaan myös parantaa työturvallisuutta tietyissä kohteissa kuten esimerkiksi perusparannushankkeissa tai kohteissa, joissa kojeiston laajennukselle on niukasti tilaa. Vanhan, käytössä olevan kytkinlaitoksen perusparantaminen on erityisen haastavaa, kun kytkinlaitoksen käyttöä ei voida keskeyttää. Vanhan kytkinlaitoksen kiskojärjestelmä, käyttötilanne ja keskeytyksien toteutettavuus määrittävät missä järjestyksessä ja ajassa työt on tehtävä. Laajoissa perusparannushankkeissa joudutaankin usein tekemään töitä jännitteisten suurjännitekojeistojen läheisyydessä, ja riittävien jännite-etäisyyksien yläläpittäminen on äärimmäisen tärkeää työskentelyn turvallisuuden takaamiseksi. Kun suuri osa tai peräti kaikki kytkinkentän laitteista uusitaan kerralla yhdellä kompaktilla kojeistomodulilla, säästetään jännitteisen kojeiston läheisyydessä tehtävää työtä ja aikaa. Hybridikojeistomodulit tulevat tehtaalta tehdastestatuina ja suoraan asennuskelpoisina, joten niiden käyttöönotto on nopeaa. Nopeamman asennus- ja käyttöönottoajan takia myös työstä johtuva keskeytysaika lyhenee. Tästä voi kohteesta riippuen olla suurikin hyöty sillä pitempiä keskeytyksiä on usein vaikea saada ja ne voivat vaatia erikoisjärjestelyjä. [7, s. 97; 34; 35; 44]



Kuva 15. Dead Tank Compact hybridikojeistomodulin asennus. Siemens Energy [35]

8.1.1 Laitetyypin mahdolliset haittapuolet

Perinteisen avorakenteisen ulkokytkinlaitoksen kytkinkenttään verrattuna hybridikojeistomodulin yhtenä haittapuolena on siinä aiheutuvan mahdollisen laitevian korjauksen hankaluus. Avokytkinlaitoksella vikaantuneen laitteen, esimerkiksi erottimen korjaaminen tai vaihtaminen uuteen on yksinkertaista ja nopeaa. Vian aiheuttama keskeytysaika on usein suhteellisen lyhyt. Hybridikojeistomodulissa vikaantuneen erottimen korjaus voi vaatia kojeistolle avaavan huollon. Mikäli laite on vaihdettava, vaaditaan avaava huolto, joka tarkoittaa myös, että eristekaasut on tyhjennettävä ja otettava talteen. Korjaustyö vaatii myös erikoisosaamista ja todennäköisesti laitteen valmistajan läsnäoloa ja valvontaa, mikä lisää riippuvuussuhdetta laitevalmistajiin. Myöskin korjausaika on todennäköisesti pitempi, jolloin viasta aiheutuvan haitan aika pitenee. Varaosissa voi myös olla pitkät toimitusajat. Näitä ongelmia voidaan tietysti määrin ennaltaehkäistä ja helpottaa pitämällä niitä varastossa. Varaosien kanssa on kuitenkin ongelmana, että ne eivät ole yhteensopivia keskenään eri laitevalmistajien välillä, joten varaosia olisi varastoitava eri laitevalmistajilta. Yksi mahdollisuus olisi pitää kokonaisia hybridikojeistomoduleja varalla. Tämä on kuitenkin kallis vaihtoehto

ja aiheuttaa haasteita siinä mielessä, että erilaisia kojeistovariaatioita on paljon ja ne ovat käyttökohderiippuvaisia. [20; 34]

Toinen huomioitava asia on hybridikojeistomoduulien kestävyys suomen olosuhteissa. Vuodenaikojen suuresti vaihtelevat sääolosuhteet sekä veden jäätyminen ja sulaminen voivat aiheuttaa sen että vesi pääsee tunkeutumaan laitteen laippojen väliin, jossa se voi aiheuttaa korroosiota sekä kaasuvuotoja. Laippakorroosio kehittyy hitaasti, joten mahdollisiin ongelmiin ei törmätä heti vaan pitemmän ajan kuluessa. Laippakorroosiota on ollut havaittavissa muun muassa kantaverkkoon asennettujen katkaisijoiden katkaisupäiden laipoissa. Hybridikojeistomoduulien laippapinta-alat ovat katkaisijoita suuremmat, joten niihin kohdistuu suurempi laippakorroosiolle altistava rasite. Keski- ja Etelä-Euroopassa on ollut tapana asentaa kaasueristeisiä kytkinlaitoksia suoraan ulos ilman niitä suojaavia rakennuksia. Monissa näistä kojeistoista on ollut ongelmia laippakorroosion ja kaasuvuotojen kanssa ja joissakin maissa on viime aikoina tehty periaatepäätöksiä, ettei uusia kaasueristeisiä kytkinlaitoksia enää asenneta suoraan ulos, vaan ne asennetaan kojeistoa suojaavan rakennuksen sisälle. Joissain tapauksissa on mietitty jopa ulos asennetun kaasueristeisen kytkinlaitoksen kattamista jälkeensä. Suomen kantaverkossa kaikki kaasueristeiset kytkinlaitokset asennetaan rakennuksen sisälle, suojaan sääolosuhteiden vaikutuksilta. Kaasueristeiset kytkinlaitokset ovat kuitenkin huomattavasti suurempia ja monimutkaisempia kojeistoja kuin hybridikojeistomoduulit eikä niitä voi verrata suoraan keskenään. On myös syytä mainita, että laitevalmistajien mukaan hybridikojeistomoduulit soveltuvat hyvin asennettaviksi ääriolosuhteisiin, jossa kojeisto altistuu myös kovalle pakkasille. [20; 34]

8.2 Huolto ja kunnossapito

Hybridikojeistojen kytkinlaitteet ovat suojassa koteloinnin sisällä ja niiden huoltotarpeet ovat hyvin vähäisiä. Huollon tarpeet ja huolto-ohjelmat vaihtelevat myös eri laitevalmistajien välillä. Joidenkin kojeistojen huolto-ohjelma voi sisältää esimerkiksi tarkastuksen 12 käyttövuoden jälkeen ja avaavan huollon 25 käyttövuoden jälkeen. Myös katkaisjoille kertyvät toimintasyklit voivat vaikuttaa

huollon tarpeen ajankohtaan. Tarkastuksen ajaksi kojeisto tehdään jännitteettömäksi ja maadoitetaan. Avaavassa huollossa avataan kojeiston kaasutilat, SF₆-kaasu otetaan talteen, jonka jälkeen kojeisto voidaan huoltaa. Kaikilta kojeistoilta ei edellytetä enää avaavaa huoltoa. [35; 36; 37]

Hybridikojeistoja voidaan varustaa antureilla, jotka mittaavat jatkuvasti kojeiston tilaa ja keräävät tietoa katkaisutapahtumista. Järjestelmällä saadaan muodostettua tarkka kuva kojeiston tilasta, jolloin mahdolliset huoltotarpeet ja niiden suoritusajankohta voidaan optimoida. Jotkut laitevalmistajat mainostavat hybridikojeistomoduulinsa olevan jopa täysin huoltovapaita koko niiden elinkaaren ajan. [35; 37]

8.3 SF₆-vapaa ratkaisut

Kytkinlaitevalmistajat ovat alkaneet viime vuosina tuomaan markkinoille SF₆-vapaita ratkaisuja. Ratkaisut perustuvat uusiin, ympäristöystävällisiin eristekaasuseoksiin tai tyhjiön sekä teknisen ilman hyödyntämiseen. Uusien ympäristöystävällisten eristekaasujen ilmakehää lämmittävä vaikutus voi olla jopa 99 % pienempi kuin SF₆-kaasulla, lisäksi kaasut ovat myös myrkyttömiä. Tyhjiöön ja tekniseen ilmaan perustuvista ratkaisuista ei aiheudu hiilidioksidipäästöjä ollenkaan. 123–145 kV jännitetasolle on tällä hetkellä saatavana SF₆-vapaita katkaisijoita (live-tank ja dead-tank) sekä kaasueristeisiä kytkinlaitoksia. Näiden laitteiden alhaisin käyttölämpötila on -30 ja -60 °C välillä, riippuen valmistajasta ja tekniikasta. SF₆-vapaita hybridikojeistoja ei ole vielä saatavilla, mutta laitevalmistajat ovat laatineet tiekartat tuleville vuosille julkaistaville SF₆-vapaille laitteille, joihin sisältyvät myös hybridikojeistot. Esimerkiksi Hitachi Energy on julkaisemassa SF₆-vapaan 145 kV PASS hybridikojeiston vuonna 2023. [45; 46; 47; 48; 49]

Siemens Energyn valmistaman SF₆-vapaan dead-tank-katkaisijan (3AV1 Blue Circuit Breaker) toimintaperiaate perustuu tyhjiötekniikkaan ja eristekaasuna käytetään SF₆-kaasun sijaan teknistä ilmaa (80 % typpeä, 20 % happea). Katkaisija vastaa teknisiltä ominaisuuksiltaan SF₆ dead-tank-katkaisijaa ja niitä

valmistetaan tällä hetkellä 72,5–123 kV nimellisjännitteellä, 145 kV katkaisija tulee myyntiin vuoden 2022 aikana. 123 kV 3AV1 dead-tank-katkaisijan nimellisvirta on 3000 A katkaisukyvyyn ollessa 40 kA. Katkaisijan alhaisin käyttölämpötila on jopa $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$, eikä siihen vaadita erillisiä lämmittämiä. [50]



Kuva 16. 3AV1 SF₆-vapaa dead-tank-katkaisija. Siemens Energy [50]

8.4 Humalamäki 110 kV sähköasema

Opinnäytetyötä varten käytiin tutustumassa Savon Voima Verkko Oy:n Humalamäen 110 kV sähköasemaan, jonka kytkinkenttä on toteutettu hybridikojeistomodulilla (ABB PASS M0). Nimellisjännitteeltään 123 kV kojeisto on ollut kytkettynä verkkoon vuodesta 2016. Humalamäen sähköasema liittyy kantaverkon Huutokoski – Iloharju 110 kV voimajohtoon ja toimii Leppävirran 110 kV sähköaseman varayhteyden katkaisijana. [51]

Kojeistomoduli sisältää moottorijousiohjatun dead-tank-katkaisijan, virtamuuntajat sekä katkaisijan kummallekin puolelle sijoitetut erottimet/maadoituskytkimet. Johtojännitemuuntajia ei olla sijoitettu kojeistoon vaan ne on toteutettu perinteisillä, erillisillä laitteilla. Kojiston pakkaskestävyys on $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ siinä käytetyn seoskaasun (SF₆/CF₄) ansiosta. Kojesto on myös varustettu kaasupaineenvälvonnalla. [51]

Savon Voima Verkko Oy on ollut tyytyväinen Humalamäen hybridikojeistomoduulin toimintaan eikä sen kanssa ole ilmennyt ongelmia. [51]



Kuva 17. Humalamäki 110 kV sähköasema. Savon Voima Verkko Oy [51]

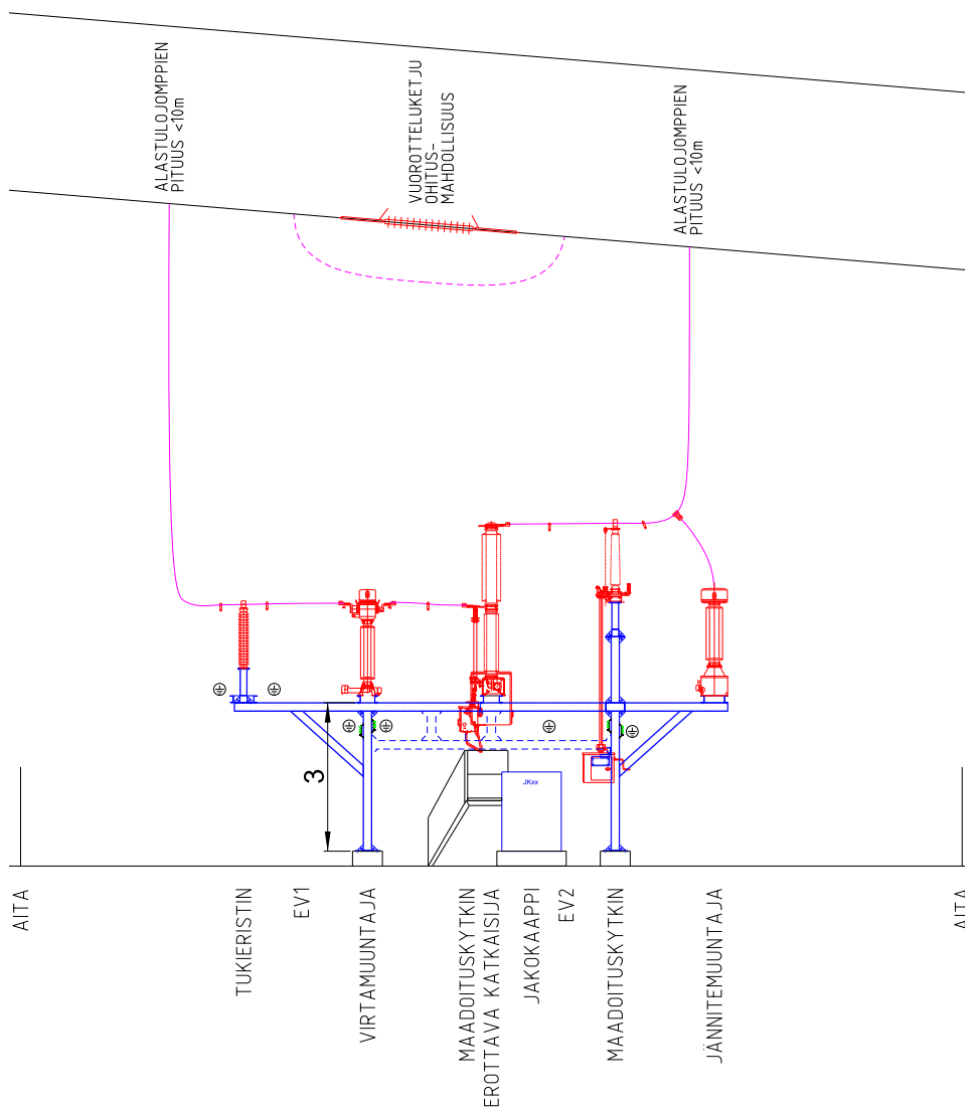
9 110 kV hybridikojeistojen mahdolliset käyttökohteet

Opinnäytetyöhön valittiin kolme eri käyttökohdetta, joihin hybridikojeistojen käyttömahdollisuutta selvitettiin. Valitut käyttökohteet arvioitiin työhön sopiviksi ja ne ovat 110 kV voimajohdon pitkittäiskatkaisija, 110 kV johtokentän perusparannus sekä 110 kV liityntäasema. [34]

9.1 110 kV voimajohdon pitkittäiskatkaisija

Opinnäytetyön ensimmäiseksi hybridikojeistojen mahdolliseksi käyttökohteeksi valittiin 110 kV voimajohdon pitkittäiskatkaisija. Ratkaisuun tehtiin suunnittelua perinteisin laittein, jonka lisäksi suunniteltiin myös vertailuratkaisu, joka toteutettiin hybridikojeistomoduulilla.

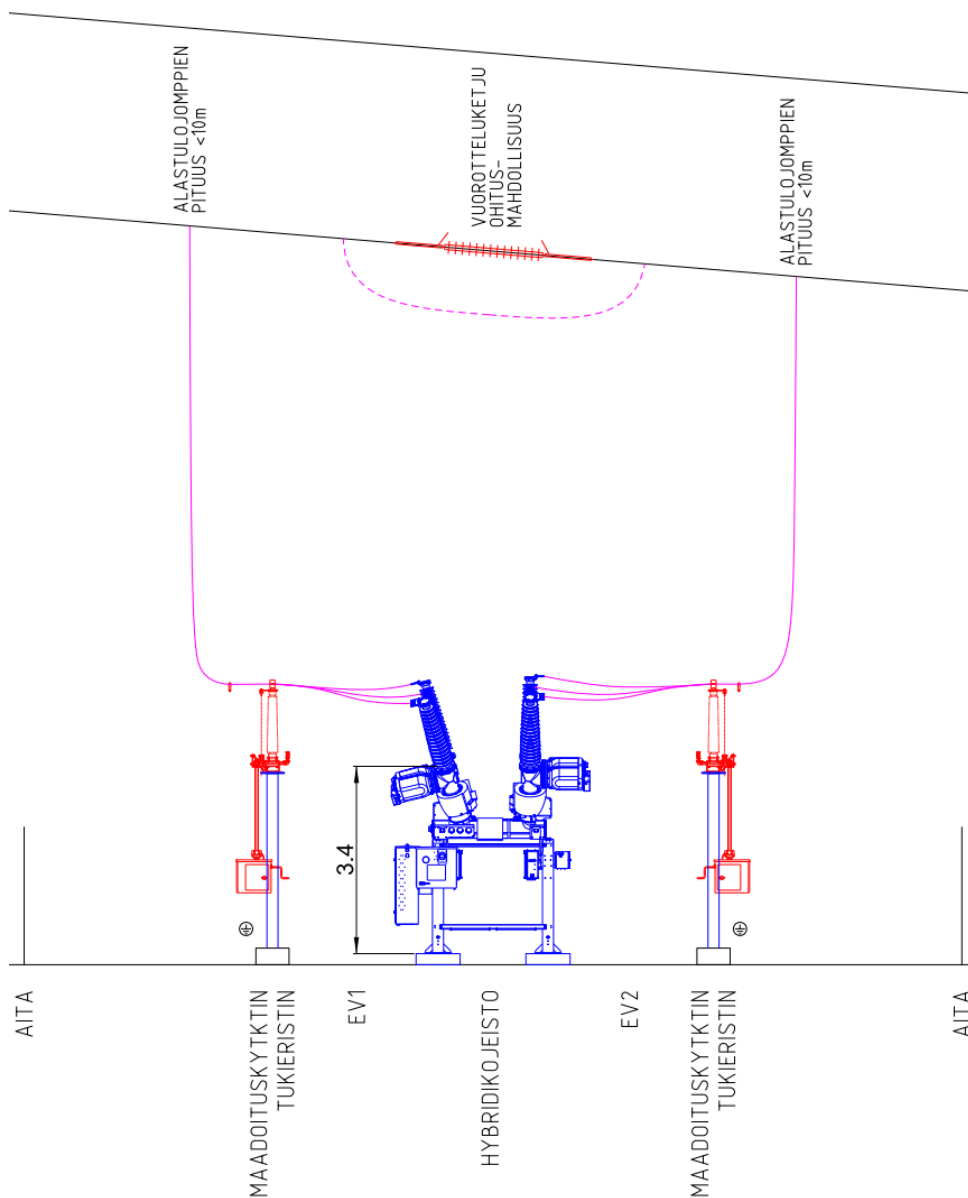
Suojauksella varustetulla pitkittäiskatkaisijalla voimajohto saadaan vikatilanteessa jaettua kahteen osaan, joka pienentää keskeytyksestä aiheutuvaa haittaa. Myös suunnitellun keskeytyksen yhteydessä keskeytyksen vaikutusalue rajautuu, kun koko johtoa ei tarvitse tehdä jännitteettömäksi. [34]



Kuva 18. 110 kV voimajohdon pitkittäiskatkaisija, toteutettu perinteisin kytkinlaittein ja mittamuuntajin. Fingrid [52]

Kuvassa 18 (liite 2, sivu 2) on esitetty 110 kV voimajohdon pitkittäiskatkaisija, joka on toteutettu perinteisillä kytkinlaitteilla sekä mittamuuntajilla. Voimajohtopylvään läheisyyteen, betoniperustuksille perustettava ja terästelineille rakennettava pieni sekä yksinkertainen laitos sisältää virtamuuntajat, erottavan

katkaisijan ja sen kummallekin puolelle sijoitetut maadoituskytkimet sekä jännitemuuntajat. Katkaisijahuoltoon varten tarvittavat erottimet on korvattu katkaisijan kummallekin puolelle sijoitetuilla, käsin avattavilla erotusväleillä (EV1 & EV2). Katkaisijan vasemmalle puolelle ei olla sijoitettu erillisiä jännitemuuntajia vaan tahdissaolon valvontaa varten tarvittavat jännitetiedot saadaan virtamuuntajien kapasitiivisista ulosotoista. Vikatilanteessa koko laitos on helposti ohitettavissa irrottamalla alastulojompit sekä asentamalla ohitusjompit paikoilleen laitoksen yläpuolella sijaitsevien eristinketjujen yli. [34; 52]



Kuva 19. 110 kV voimajohdon pitkittäiskatkaisija, toteutettu hybridikojeistomoduulilla. Fingrid [52]

Kuvassa 19 (liite 2, sivu 4) sama voimajohdon 110 kV pitkittäiskatkaisija on toteutettu yhdellä hybridikojeistomoduurilla. Hybridikojeistomoduri sisältää tässä tapauksessa dead-tank-katkaisijan sekä sen kummallekin puolelle, eli molempien johtojen suuntaan sijoitetut erottimet, virtamuuntajat sekä jännitemuuntajat. Kummankin johdon puolelle, alastulojompian tukieristimien yhteyteen on tässä tapauksessa sijoitettu erilliset maadoituskytkimet, mutta maadoituskytkimet voitaisiin sijoittaa myös pelkästään erottimien yhteyteen kuten hybridikojeistomoduurissa on tapana. Joihinkin hybridikojeistomoduurisiin on saatavilla myös laitteen ulkopuolelle asennettavia maadoituskytkimiä. Hybridikojeistomoduurilla toteutettava ratkaisu on tarvittaessa myös yhtä yksinkertainen ohittaa kuin perinteisillä laitteilla toteutettu ratkaisu. [34; 52]

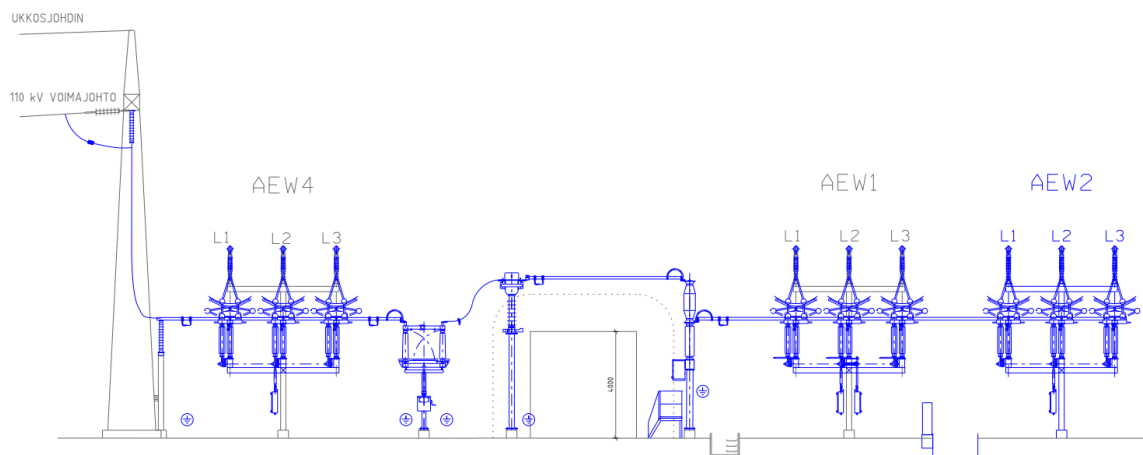
Erillisten maadoituskytkimien lisäksi asennettavia laitteita ei ole kuin yksi, joten asennukseen ja käyttöönottoon tarvittava aika on lyhyempi. Tässä toteutustavassa perustuksia tulee hybridikojeistoratkaisussa enemmän kuin perinteisessä ratkaisussa mutta muilta rakenteiltaan (terästelinet, alumiiniköydet, liittimet) ratkaisu on huomattavasti kevyempi. [52]

Hybridikojeistomoduurilla toteutettavan ratkaisun pohjapinta-ala (sijoituspiirustukset: liite 2, sivu 1 & 3) ei eroa suuresti perinteisin laittein toteutettavan ratkaisun pohjapinta-alasta, sillä sitä on jo yksinkertaistettu korvaamalla erottimet erottavalla katkaisijalla ja avattavilla erotusväleillä. Jännitteisten 110 kV osien (jompit) ja ulkoisen aidan välisen vähimmäisetäisyyden takia aitoja ei voida siirtää lähemmäs kojeistoja. Perinteisillä laitteilla toteutetussa ratkaisussa jännitemuuntajan puolelle on jätetty leveämpi käytävä laitehuoltoja varten. [34; 52; 53]

9.2 110 kV johtokentän perusparannus

Toiseksi mahdolliseksi käyttökohteeksi valittiin kantaverkon 110 kV avorakenteinen ulkokytkinlaitos, johon on tulossa laaja perusparannushanke. Kytkinlaitokselle suunniteltiin johtokentän perusparannus, joka tehtäisiin perinteisin kytkinlaittein ja mittamuuntajin sekä vertailuratkaisu, jossa käytetään hybridikojeistomoduuria.

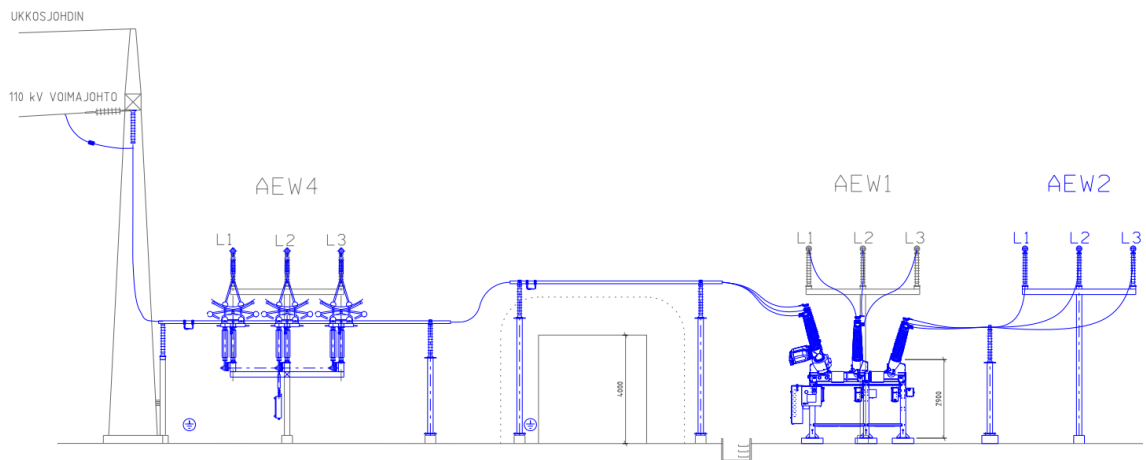
Käytössä olevan kytkinlaitoksen perusparantaminen on erityisen haastava tehtävä, kun kytkinlaitoksen käyttöä ei voida keskeyttää. Keskeytysjärjestykset ja ajat on suunniteltava tarkkaan ennen perusparantamisen aloittamista, pitempien keskeytyksien saaminen voi olla hankalaa. Perusparannettavia kytkinkenttiä on monesti useita ja joskus työt joudutaan suorittamaan kytkinkenttä kerrallaan, jolloin joudutaan työskentelemään jännitteisten kojeistojen vieressä. Tämä asettaa erityisiä haasteita työturvallisuudelle, jotta työskentelyn turvallisuus voidaan varmistaa. [7, s. 97; 34]



Kuva 20. 110 kV johtokentän perusparannus, toteutettu perinteisillä kytkinlaitteilla ja mittamuuntajilla. Fingrid [54]

Kuvassa 20 on esitetty perusparannettavan johtokentän leikkauspiirustus (liite 3, sivu 2). Sinisellä värillä merkityt kohteet ovat perusparannuksen yhteydessä uusittavia laitteita ja rakenteita. Uusittavat laitteet ovat vasemmalta oikealle lähtien apukiskon (AEW4) kiskoerotin, johtoerotin ja sen kummallakin puolella olevat maadoituskytkimet, virtamuuntaja, katkaisija sekä ensimmäisen pääkiskon (AEW1) kiskoerotin maadoituskytkimineen. Lisäksi perusparannushankkeen yhteydessä kytkinlaitoksen kiskojärjestelmä muutetaan kisko-apukiskojärjestelmästä kaksoiskisko-apukiskojärjestelmäksi, lisäämällä kytkinlaitokselle toinen pääkisko (AEW2) sekä kiskoerottimet. Kytkinlaitoksen apukiskon ansiosta suuri osa perusparannustöistä voidaan tehdä johdon ollessa ohikytkennässä kisko-katkaisijan avulla. [34; 54]

Primäärilaitteiden lisäksi kytkinkentältä uusitaan virtatiet (alumiiniset köydet sekä putkikiskot), liittimet, tukieristimet sekä osa laitteiden terästelineistä. Perusparannushankkeen yhteydessä tehdään myös kytkinlaitoksen toisiouusinta sekä uusitaan toisiokaapelointi. Toisiojärjestelmien sekä toisiokaapeloinnin uusimisen helpottamiseksi rakennetaan uusi kaapelikanava uusine jakokaapeineen, joka sijoitetaan pääkiskojen (AEW1 & AEW2) väliin. Pääteportaaleja, kokoojakiskoja, kiskotelineitä tai kiskotukieristimiä ei uusita. Myös kytkinkentällä sijaitsevat olemassa olevat perustukset pyritään hyödyntämään. [34; 54]

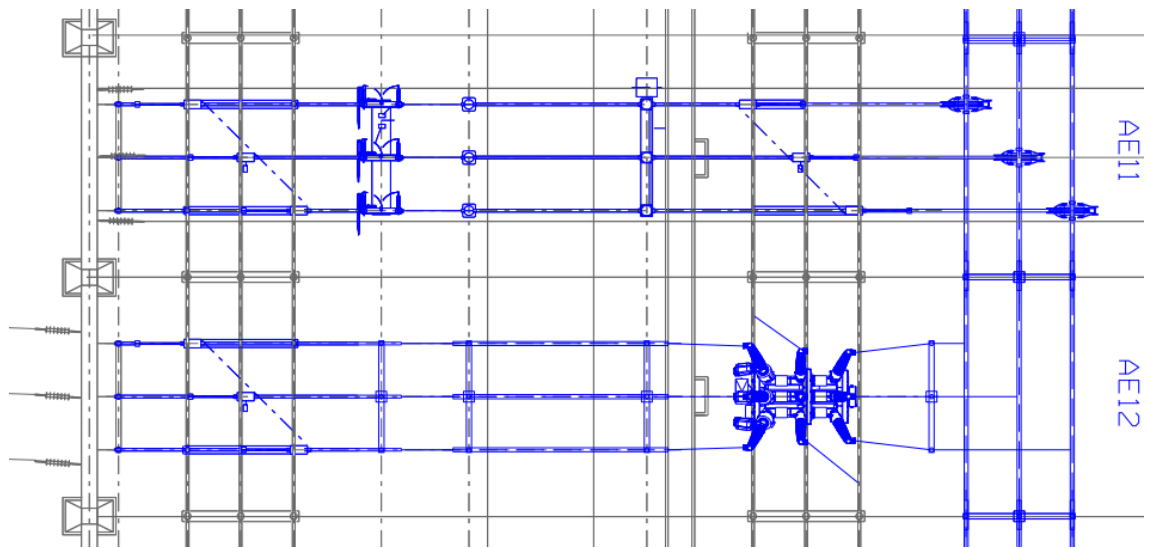


Kuva 21. 110 kV johtokentän perusparannus, toteutettu hybridikojeistomoduulilla. Fingrid [54]

Kuvassa 21 on esitetty saman johtokentän leikkauspiirustus (liite 3, sivu 3) toteutettuna hybridikojeistomoduulilla, joka sisältää kaikki johtokentän primäärilaitteet apukiskon kiskoerotinta lukuun ottamatta. Kojeisto on valmis kaksoiskiskoratkaisu, joka sisältää yhdistetyn johtoerotin/maadoituskytkimen, johtojännitemuuntajat, virtamuuntajat, katkaisijan, sekä kummankin pääkiskon kiskoerotimet ja maadoituskytkimet. [34; 54]

Kuten perinteisessä toteutuksessa myös hybridiratkaisussa uusitaan kytkinkentän virtatiet, liittimet ja telineet sekä säästetään pääteportaali, olemassa olevat perustukset ja kokoojakiskot tukirakenteineen. Hybridikojeistomoduulin ja toisen pääkiskon väliin lisätään tukieristimet suojaamaan kojeiston läpivientieristimiä mahdollisilta oikosulkuvoimilta. Kojeistolle ja uusille tukieristimille lisätään uudet perustukset. Myös toisiojärjestelmät ja toisiokaapelit uusitaan, mutta

hybridiratkaisussa olemassa oleva kaapelikanava on säästetty. Hybridiratkaisussa johtoerotin maadoituskytkimiseen voidaan halutessa toteuttaa myös perinteisellä laitteella, jolloin koko hybridikojeistomoduuli saadaan ohikytkennän aikana näkyvästi erotettua myös johdon puolelta. Tämä ei kuitenkaan ole välttämätöntä sillä liitteen 3, sivun 3 mukainen ratkaisu sisältää avattavan erotusvälin, jonka avulla kojeisto saadaan tarvittaessa erotettua näkyvästi myös johdon puolelta. [34; 54]

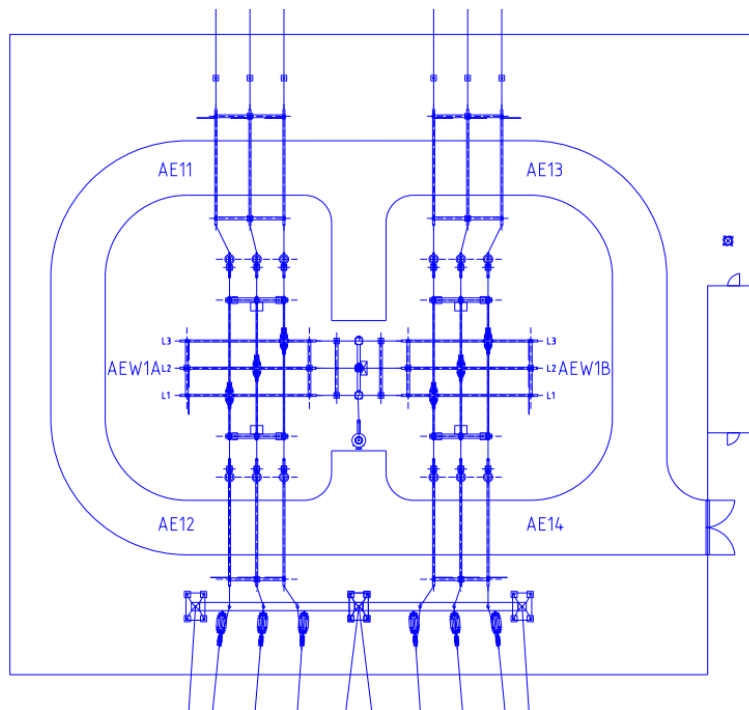


Kuva 22. 110 kV johtokentän perusparannus, sijoituspiirustus perinteinen toteutustapa ja hybridiratkaisu. Fingrid [54]

Kuvassa 22 (liite 3, sivu 1) on esitetty perusparannettavan kytkinlaitoksen kaksi johtokenttää, joista ylempi (AE11) on toteutettu perinteiseen tapaan ja alempi (AE12) hybridikojeistomoduulilla. Hybridiratkaisulla toteutettavan kytkinkentän rakenteet koostuvat virtateistä ja tukirakenteista, apukiskon kiskoerottimen ja hybridikojeistomoduulin lisäksi. Lähes kaikki kytkinkentän laitteet uusitaan yhtenä yksikkönä, joka nopeuttaa asennusta, lisäksi hybridikojeistomoduulin ympäriltä on suurempi etäisyys vierekkäisen kytkinkentän jännitteisiin osiin mikä parantaa työturvallisuutta, mikäli vierekkäistä kenttää joudutaan työn aikana pitämään jännitteisenä. [34; 54]

9.3 110 kV liityntäasema

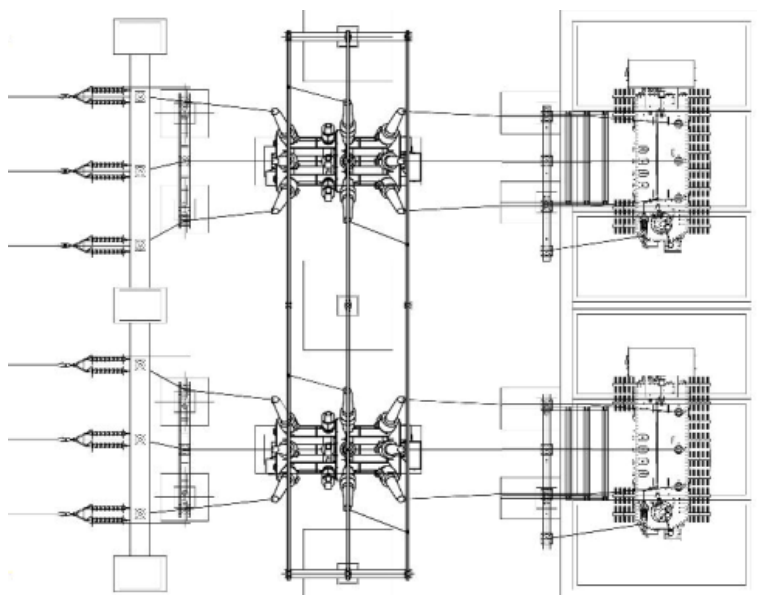
Kolmanneksi mahdolliseksi käyttökohteeksi valittiin kantaverkon 110 kV liityntäasemat. Liityntäasemat ovat kantaverkossa käytettäviä pieniä ja kustannustehokkaita, enintään neljän johtolähdön sähköasemia, joita ei lähtökohtaisesti suunnitella laajennettaviksi. Liityntäasema mahdollistaa yli 50 MVA muuntajaliitynnät sekä pitkät haaraliitynnät voimajohdolle. [34; 55]



Kuva 23. 110 kV liityntäaseman sijoituspiirustus. Fingrid [56]

Kiskojärjestelmältään liityntäasema on yksikiskoratkaisu, jonka kokoojakiskon kummallekin puolelle voidaan rakentaa kaksi kytkinkenttää (H-kytkinlaitos). Liityntäasemien laitemäärää on pyritty pienentämään käyttämällä erottavia katkaisijoita sekä avattavia erotusvälejä. Kokoojakisko on jaettu erotusvälein kahteen osaan ja kiskojännitemuuntajat on sijoitettu kokoojakiskon keskelle. Liityntäaseman käytettävyys ei ole yhtä hyvä kuin apukiskolla varustetulla kytkinlaitoksella mutta sen käytettävyys on kuitenkin huomattavasti parempi kuin erottimella varustetulla johtohaaralla. [34]

Kompakteja sähköasemaratkaisuja varten on olemassa valmiita kahden katkaisijan hybridikojeistomoduuleja, jotka sisältävät käytännössä kahden kytkinkentän laitteet. Yhdistämällä kaksi kyseistä laitetta kokoojakiskolle saadaan aikaan yksinkertainen neljän kytkinkentän yksikiskolaitos. Kahden katkaisijan hybridikojeistomoduulit sisältävät kolme läpivientieristinryhmää, joista reunimmaisilla voidaan liittyä johtoihin tai muuntajiin ja keskimmaisella voidaan liittyä kokoojakiskoihin. Kojeistot voivat esimerkiksi sisältää katkaisijat molempiin suuntiin, erottimet/maadoituskytkimet sekä virtamuuntajat molempien johtolähtöjen suuntaan sekä kiskoerottimet/maadoituskytkimet ja virtamuuntajat kiskon suuntaan. Kojeistoihin on mahdollista lisätä myös jännitemuuntajia. [35; 41]



Kuva 24. Kahdella hybridikojeistomoduulilla toteutettu H-kytkinlaitos. GE Grid Solutions [35]

Kuvassa 23 on esitetty kahdella kahden katkaisijan hybridikojeistomoduulilla toteutettu yksikiskolaitos, johon liitytään kahdella voimajohdolla ja kahdella muuntajalla. Kojeistomoduulien keskimmaisella läpivientieristinryhmällä liitytään kokoojakiskoon ja myös kiskoerottimet/maadoituskytkimet on sijoitettu kojeiston sisään. Kojeisto sisältää kytkinlaitoksen kaikki tarvittavat laitteet, myös jännitemuuntajat. [34; 35]

Kyseisen ratkaisun etuja ovat sähköaseman pienempi pohjapinta-ala sekä pienemmät maanrakennustyöt, joiden ansiosta myös sähköasemaurakan

toteutusaika on nopeampi. Yhtenä huomioitavana riskinä on kuitenkin, että yhden kojeiston vikaantuminen voi aiheuttaa kahden lähdön keskeytyksen. Toinen vaihtoehto olisi rakentaa vastaavanlainen kytkinlaitos käyttämällä viittä eri yhden katkaisijan hybridikojeistomoduaalia, jolloin jokaiselle lähdölle tulisi oma kojeisto ja viides toimisi kokoojakiskon pitkittäiskatkaisijana tai -erottimena. [34; 20]

10 Tutkimustulokset ja yhteenveto

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää 110 kV hybridikojeistojen käyttömahdollisuuksia Fingridillä, sekä tunnistaa niitä käyttökohteita missä kyseinen laitetyyppi voisi tuoda etuja perinteiseen toteutustapaan verrattuna. Lisäksi opinnäytetyössä tuli arvioida laitetyyppin mahdollisia haittapuolia ja riskejä sekä selvittää 110 kV hybridikojeistomodulien laiteominaisuuksia sekä huolto ja kunnossapitotarpeita. Tarkoituksena oli myös, että opinnäytetyötä varten tuotettuja suunnitteluratkaisuja voidaan hyödyntää Fingridin sähköasemasuunnittelussa.

Tutkittaviksi kohteiksi valittiin 110 kV voimajohdon pitkittäiskatkaisija, 110 kV johtokentän laaja perusparannus sekä 110 kV liityntäasema. Selvitettäviä kohteita varten tehtiin suunnittelua kuten sijoitus- ja leikkauspiirustuksia sekä hyödynnettiin myös laitevalmistajilta saatavissa olevaa aineistoa. Valitut kohteet olivat erilaisia ja niiden toteuttamisesta hybridikojeistomodulailla olisi mahdollista saavuttaa erilaisia hyötyjä. Työssä arvioitiin myös hybridikojeistojen aiheuttamia mahdollisia riskejä tai haittoja perinteiseen toteutustapaan verrattuna. Hyötyjä tai haittoja arvioitiin sähköasemasuunnittelun ja toteutuksen näkökulmasta, sähköasemasuunnittelu toimikin tämän opinnäytetyön lähtökohtana. Opinnäytetyössä käytiin myös läpi hybridikojeistojen huolto ja kunnossapitotarpeita.

110 kV voimajohdon pitkittäiskatkaisijan tapauksessa hybridikojeistomoduaali tarjoaisi yksinkertaisen ratkaisun, jossa maanrakentaminen ja esimerkiksi teräsraakenteiden tarve olisi vähäistä. Johdon puolen maadoituskytkimien sijoitteluun esitettiin myös useampi vaihtoehto. Mikäli laite jostain syystä vikaantuisi olisi se helposti ohitettavissa korjaustöiden ajaksi eikä siitä aiheutuisi suurta haittaa.

110 kV johtokentän perusparannustapauksessa hybridikojeistomoduuli parantaisi työturvallisuutta kompaktin rakenteensa ansiosta. Työskentelyetäisyydet viereisiin jännitteisiin osiin kasvaisivat, asennustyö vähenisi ja nopeutuisi, joka lyhentäisi myös keskeytysaikaa. Kytkinlaitoksen apukiskon ansiosta johtolähtö voitaisiin ottaa ohikytkentään kiskokatkaisijalla, hybridikojeistomoduulin mahdollisen huollon tai korjaustyön ajaksi.

110 kV Liityntäasemaesimerkissä perinteistä toteutustapaa vertailtiin kahden katkaisijan hybridikojeistomoduuliin. Liityntäasemien osalta laitemäärää on valmiiksi vähennetty, ja ne ovat pohjapinta-alaltaan pieniä verrattuna muihin kanta-verkon 110 kV kytkinlaitoksiin. Kahden katkaisijan hybridikojeistomoduuleja käyttämällä pohjapinta-alaa saataisiin pienennettyä entisestään mikä keventäisi myös maanrakennustöitä. Mikäli kytkinlaitos sijaitsee syrjäisemmällä sijainnilla eikä esimerkiksi lähellä asutusta, ei äärimmäiseen tilansäästöön kuitenkaan ole tarvetta vaan kytkinlaitoksen huollettavuuteen kiinnitetään huomiota rakentamalla riittävät huoltotiet ja kulkureitit. Kun neljän kytkinkentän laitteet sijoitetaan ainoastaan kahteen laiteyksikköön kasvavat myös riskit sille, että mahdollinen laitevika aiheuttaa suuremman haitan ja keskeytyksen. Ohikytkentä ei myöskään ole tässä tapauksessa mahdollista. Yksi kokeilumahdollisuus olisi rakentaa perinteinen liityntäasema ja korvata toisen Fingridin johtokentän laitteet hybridikojeistomoduulilla. Tässä tapauksessa kytkinlaitoksen käytettävyyttä säilyisi myös toisen Fingridin johtokentän ollessa keskeytyksessä.

Tutkimustulosten osalta voidaan todeta, että opinnäytetyötä varten asetetut tutkimustavoitteet saavutettiin. Opinnäytetyössä onnistuttiin osoittamaan käyttökelpoisia ratkaisuja hybridikojeistoille ja hybridikojeistojen ominaisuuksista ja käyttömahdollisuuksista kerättiin hyödyllistä tietoa. Opinnäytetyössä selvitettiin myös laitetyypin mahdollisia haittapuolia sekä niiden sisältämiä riskejä. Opinnäytetyötä varten tuotettu suunnitteluaineisto on hyödynnettävissä Fingridin sähköasemasuunnittelussa.

Mikäli Fingridillä päätettäisiin tulevaisuudessa käyttää hybridikojeistoa jossakin kohteessa voisi ensimmäisenä pilottihankkeena toimia esimerkiksi 110 kV

voimajohdon pitkittäiskatkaisija tai 110 kV liityntäasema, josta aluksi toinen Fingridin johtokenttä toteutettaisiin perinteiseen tapaan ja toinen hybridikojeistomodulilla. Riskienhallinnan kannalta pilottihankkeeksi olisi luonnollista valita jokin ei niin kriittinen kohde, joka olisi myös ohitettavissa tai ohikytettävissä. Pilottihankkeella saataisiin kerrytettyä arvokasta kokemusta liittyen hybridikojeistojen projektointiin, asennukseen ja käyttöönottoon.

Tässä opinnäytetyössä hybridikojeistoja on tutkittu sähköasemasuunnittelun ja toteutuksen näkökulmasta. Mikäli hybridiratkaisua päätetään kokeilla, olisi aluksi suoritettava tarkka kustannusvertailu eri toteutustapojen välillä. Toinen selvitettävä asia olisi tarkastaa täyttävätkö hybridikojeistomoduleissa käytettävät kytkinlaitteet ja mittamuuntajat niille asetettujen standardien lisäksi myös kaikki Fingridin teknisissä hankintaspesifikaatioissa esitetyt erityisvaatimukset. Myös varaosien tai kokonaisten varalaitteiden varastointia olisi pohdittava.

Lähteet

- 1 Fingrid Oyj. 2021. Esittely. Verkkodokumentti. <<https://www.fingrid.fi/sivut/yhtio/esittely/>>. Luettu 14.10.2021.
- 2 Fingrid Oyj. 2021. Avainluvut. Verkkodokumentti. <<https://www.fingrid.fi/sivut/yhtio/esittely/avaintiedot/>>. Luettu 14.10.2021.
- 3 Fingrid Oyj. 2021. Suomen sähköjärjestelmä. Verkkodokumentti. <<https://www.fingrid.fi/kantaverkko/sahkonsiirto/suomen-sahkojarjestelma/>>. Luettu 16.10.2021.
- 4 Fingrid Oyj. 2022. Fingridin sähkösiirtoverkko. Verkkodokumentti. <https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/kantaverkko/sahkonsiirto/a3_kartta_selite_22.pdf>. Luettu 2.4.2022.
- 5 Fingrid Oyj. 2021. Käyttövarmuuden ylläpito. Verkkodokumentti. <<https://www.fingrid.fi/kantaverkko/sahkonsiirto/kayttovarmuuden-yllapito/>>. Luettu 16.10.2021.
- 6 Fingrid Oyj. 2011. Kantaverkon käsikirja. Sisäinen julkaisu.
- 7 Elovaara, Jarmo & Haarla, Liisa. 2019. Sähköverkot II. 2. painos. Helsinki: Ota-tieto.
- 8 Fingrid Oyj. 2020. Kristinestad 400/110 kV muuntoasema. Sisäinen kuvaarkisto.
- 9 Aro, M., Elovaara, J., Karttunen, M., Nousiainen, K., Palva, V. 2015. Suurjännitetekniikka. 4. korjattu ja täydennetty painos. Espoo: Otatiето.
- 10 IEEE. 2012. IEEE C37.122.3-2011. IEEE Guide for Sulphur Hexafluoride (SF6) Gas Handling for High-Voltage (over 1000 VAC) Equipment. New York: IEEE.
- 11 Fingrid Oyj. 2021. Circuit breaker – S22301E1. Sisäinen julkaisu.
- 12 Vainio, Vesa. 2020. SF6: Erinomainen eristekaasu toimii valvotussa ympäristössä. Fingrid lehti 1/2020, s.30–31. Verkkodokumentti. <https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/julkaisut/asiakaslehdet/fg0120_pdf-96dpi.pdf>. Luettu 20.4.2021.
- 13 Vainio, Vesa. 2020. Fingrid luopuu ilmastolle haitallisesta SF6-eristekaasusta vähitellen. Fingrid lehti 2/2020, s.28–29. Verkkodokumentti. <https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/julkaisut/asiakaslehdet/fg0220_pdf-150dpi_01_09.pdf>. Luettu 20.10.2021.

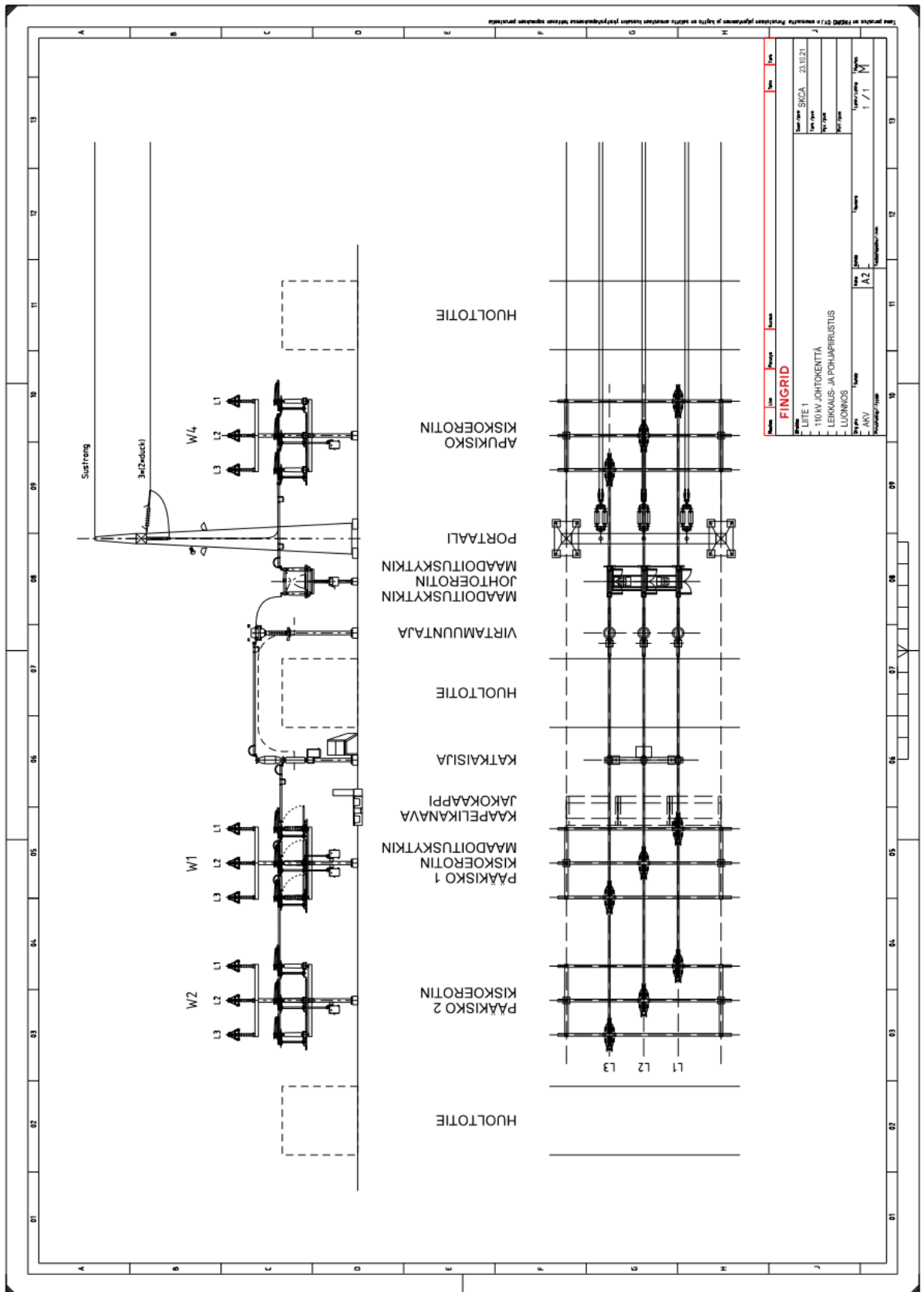
- 14 Fingrid Oyj. 2020. Sähköasemien esisuunnitteluohje – S12006. Sisäinen julkaisu.
- 15 Fingrid Oyj. 2019. Jylkkä 110 kV avorakenteinen ulkokytkinlaitos. Sisäinen kuva-arkisto.
- 16 Fingrid Oyj. 2022. 110 kV AIS johtokentän leikkaus- sekä pohjapiirustus. Sisäinen, julkaisematon aineisto.
- 17 Haila, T. 2016. Häiriötallennin- ja suojaletietojen hyödyntäminen katkaisijoiden kunnonvalvonnassa. Diplomityö. Aalto-yliopisto.
- 18 GE Grid Solutions. 2019. 110 kV live-tank-kaasukatkaisija (SF₆). Valmistajan käyttöohje.
- 19 Smeets, R., Van der Sluis, L., Kapetanovic, M., Peelo, D., Janssen, A. 2015. Switching in Electrical Transmission and Distribution Systems. First Edition. John Wiley & Sons, Inc.
- 20 Fingrid Oyj. 2022. Tammi, J. Asiantuntijahaastattelut. Useita ajankohtia.
- 21 Hitachi Energy. 2022. Disconnecting Circuit Breaker 72.5 – 550 kV. Verk-kodokumentti. <<https://www.hitachienergy.com/offering/product-and-system/high-voltage-switchgear-and-breakers/air-insulated-switchgear/disconnecting-circuit-breaker-dcb-72-5-55f0-kv>>. Luettu 6.2.2022.
- 22 Fingrid Oyj. 2021. Disconnecting circuit breaker - S22313E1. Sisäinen julkaisu.
- 23 Fingrid Oyj. 2021. Disconnecter and earthing switch - S22302E1. Sisäinen julkaisu.
- 24 Fingrid Oyj. 2022. 110 kV erottimia. Sisäinen, julkaisematon aineisto.
- 25 Bayliss, Colin & Hardy, Brian. 2011. Transmission and Distribution Electrical Engineering. 4th Edition. Elsevier.
- 26 Fingrid Oyj. 2021. Current transformer - S22303E1. Sisäinen julkaisu.
- 27 Fingrid Oyj. 2022. Sierla, S. Asiantuntijahaastattelut. Useita ajankohtia.
- 28 Fingrid Oyj. 2021. 110 kV virtamuuntajia, Vajukoski. Sisäinen kuva-arkisto.
- 29 Fingrid Oyj. 2021. Inductive voltage transformer - S22305E1. Sisäinen julkaisu.
- 30 Fingrid Oyj. 2021. 110 kV jännitemuuntajia, Uusnivala. Sisäinen kuva-arkisto.
- 31 Freeman, Willie & Heiermeier, Helmut. 2002. Simplifying circuit-breakers Dead tank circuit-breakers for 80 kA and 145-242 kV. ABB Review 3/2002.

- 32 Siemens AG. 2010. 3AP DT Dead-Tank High Voltage Circuit Breakers 72.5 kV up to 550 kV. Tuoteopas.
- 33 Hitachi ABB Power Grids. 2019. Dead Tank Circuit Breakers up to 170 kV Compact and preset from factory for rapid installation. Tuoteopas.
- 34 Fingrid Oyj & Rejlers Finland Oy. 2022. Parkkinen, R. Asiantuntijahaastattelut. Useita ajankohtia 2021–2022.
- 35 GE Grid Solutions. 2017. HYPact Hybrid Compact Switchgear Assembly. Tuoteopas.
- 36 Siemens Energy. 2015. 3AP1 DTC – Dead Tank Compact. Tuoteopas.
- 37 Hitachi ABB Power Grids. 2021. PASS – Plug And Switch System High-voltage hybrid switchgear. Tuoteopas.
- 38 Siemens Energy. 2022. Dead Tank Compact (DTC). Verkkodokumentti. <<https://www.siemens-energy.com/global/en/offerings/power-transmission/portfolio/circuit-breakers/dead-tank-compact.html>>. Luettu 21.3.2022.
- 39 Siemens AG. 2013. High-Voltage Compact Switchgear. Tuoteopas.
- 40 ABB. 2010. PASS hybridikojeistomoduulin yleiskaavio. Verkkodokumentti. <[https://library.e.abb.com/public/08ce8206e8884253c125797b003d28cd/OD_PASS-M0_SBB-RC\(EN\)-_2GJA309958-1010.pdf?x-sign=QuGUJei5MnnltOzj5cmQJFT+NrkRhkF/tV9px9v80FKjyH-nYQmD8sDH0bf6GYo4t](https://library.e.abb.com/public/08ce8206e8884253c125797b003d28cd/OD_PASS-M0_SBB-RC(EN)-_2GJA309958-1010.pdf?x-sign=QuGUJei5MnnltOzj5cmQJFT+NrkRhkF/tV9px9v80FKjyH-nYQmD8sDH0bf6GYo4t)>. Luettu 25.3.2022.
- 41 ABB. 2013. Plug and Switch System PASS Introduction. Tuoteopas.
- 42 Siemens Energy. 2016. Dead Tank Ready for cooldown 3AP1DT up to 170 kV with mixed gases for lowest temperatures. Tuoteopas.
- 43 GE Grid Solutions. 2022. Hakanpää, I. Sähköpostikeskustelut. Useita ajankohtia.
- 44 Siemens AG. 2011. High-Voltage Circuit-Breakers: Trends and Recent Developments. Tuoteopas.
- 45 GE Grid Solutions. 2021. g³ Technology The Alternative to SF₆ for High Voltage Applications. Verkkodokumentti. <<https://www.gegridsolutions.com/products/brochures/g3-gas-technology-brochure-en.pdf>>. Luettu 2.4.2022.
- 46 GE Grid Solutions. 2022. g³ Roadmap. Verkkodokumentti. <https://www.gegridsolutions.com/products/reference/g3_roadmap_2025-brochure-en.pdf>. Luettu 2.4.2022.

- 47 Siemens Energy. 2022. Blue high-voltage products. Verkkodokumentti. <<https://www.siemens-energy.com/global/en/offerings/power-transmission/innovation/blue-high-voltage-products.html>>. Luettu 2.4.2022.
- 48 Hitachi Energy. 2022. EconiQ™ Live Tank Breaker – LTA. Verkkodokumentti. <<https://www.hitachienergy.com/offering/product-and-system/high-voltage-switchgear-and-breakers/air-insulated-switchgear/econiq-live-tank-breaker-lta>>. Luettu 2.4.2022.
- 49 Hitachi Energy. 2022. EconiQ™ high-voltage portfolio roadmap. Verkkodokumentti. <<https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=9AKK107992A6580&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>>. Luettu 2.4.2022.
- 50 Siemens Energy. 2021. 3AV1 Blue Circuit Breaker™. Verkkodokumentti. <https://assets.siemens-energy.com/siemens/assets/api/uuid:6a78b6d1-ebf8-40ad-8f22-e68cb17d7d69/3av1-blue-dead-tank.pdf?ste_sid=71b69f54fb526c46ded8b5b2466de369>. Luettu 2.4.2022.
- 51 Savon Voima Verkko Oy. 2022. Puustinen, J. Humalamäki 110 kV sähköasemakäynti ja haastattelu. 23.3.2022.
- 52 Fingrid Oyj. 2022. Esisuunnitteluaineisto 110 kV voimajohdon pitkittäiskatkaisija. Sisäinen, julkaisematon aineisto.
- 53 Fingrid Oyj. 2021. Sähköiset vaatimukset – S22111E1. Sisäinen julkaisu.
- 54 Fingrid Oyj. 2022. Esisuunnitteluaineisto 110 kV johtokentän perusparannus. Sisäinen, julkaisematon aineisto.
- 55 Fingrid Oyj. 2019. Teknisen määrittelyn yhteenveto Johdonvariasema/ Liityntäasema. Sisäinen julkaisu.
- 56 Fingrid Oyj. 2022. 110 kV liityntäaseman sijoituspiirustus. Sisäinen, julkaisematon aineisto.

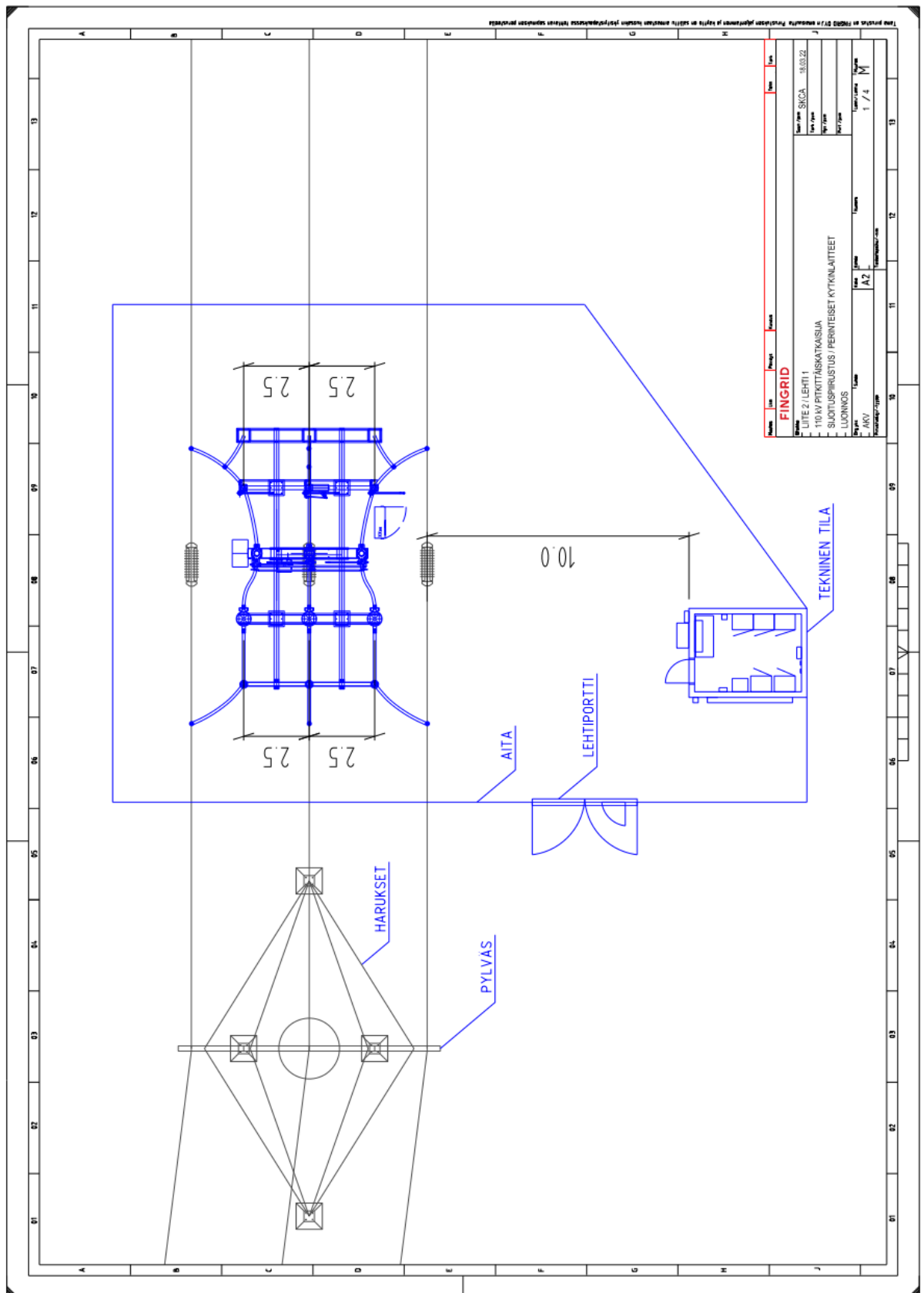
110 kV AIS johtokenttä

Leikkaus ja pohjapiirustus:



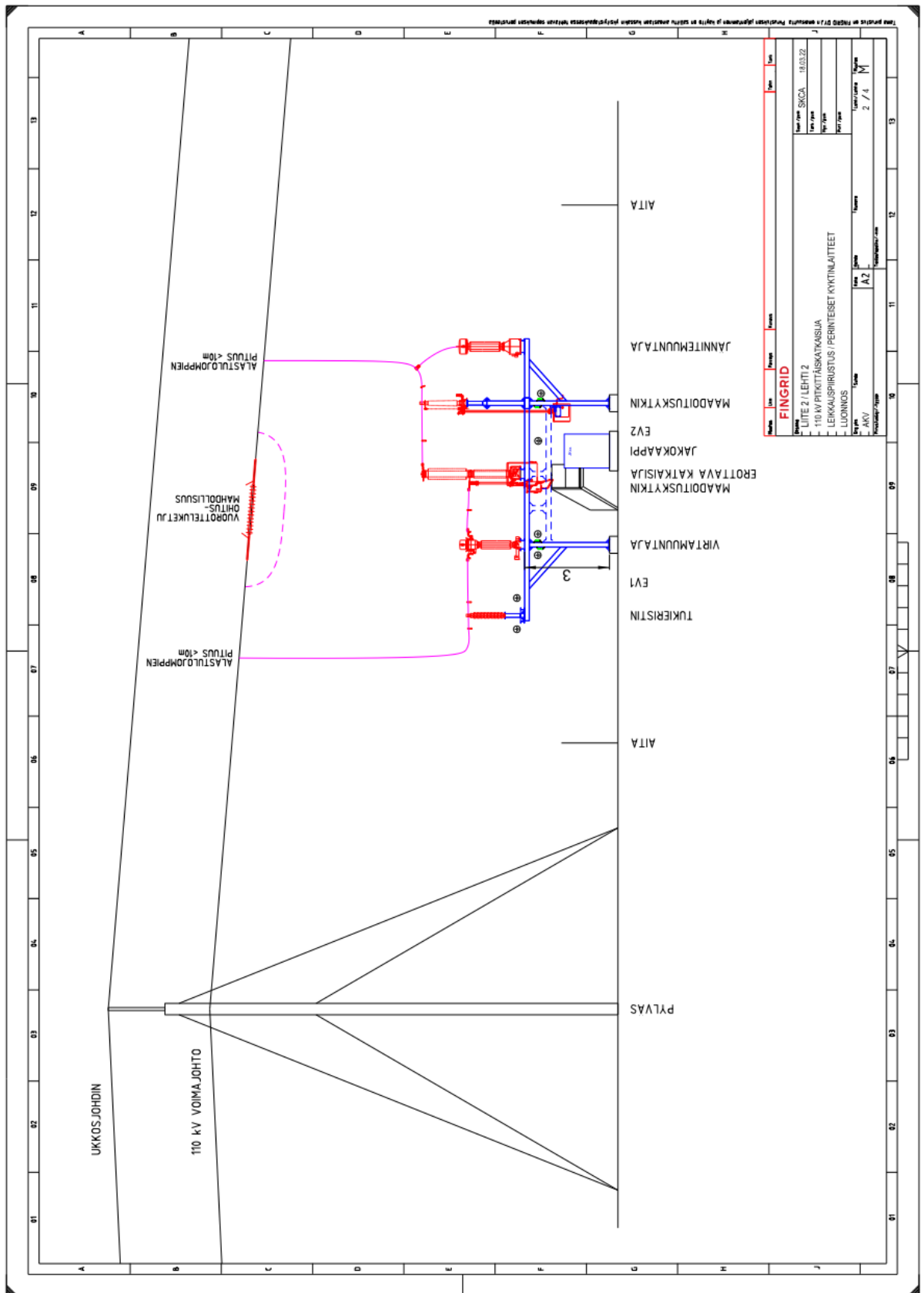
110 kV voimajohdon pitkittäiskatkaisija

Sijoituspiirustus perinteiset laitteet:



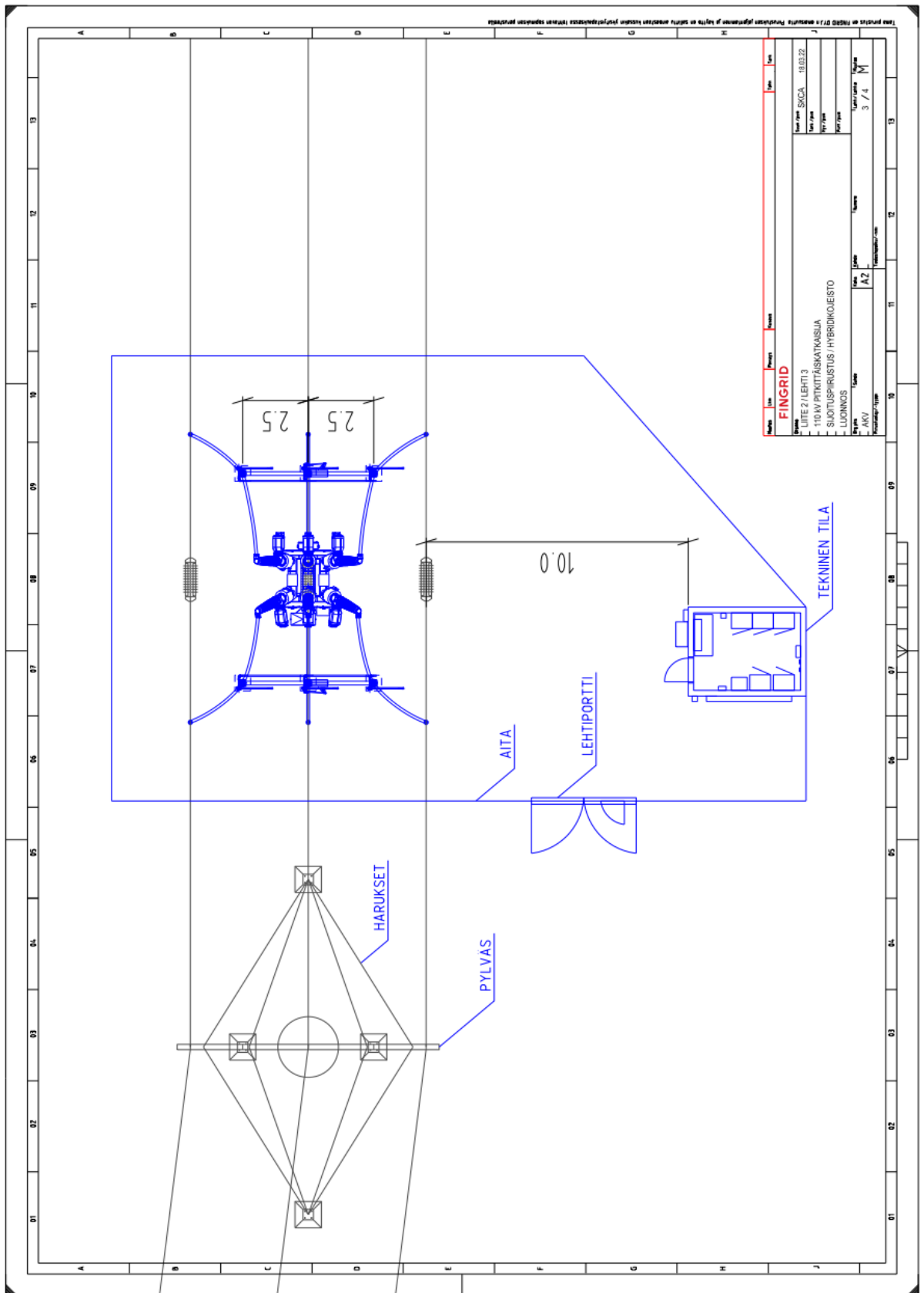
110 kV voimajohdon pitkittäiskatkaisija

Leikkauspiirustus perinteiset laitteet:



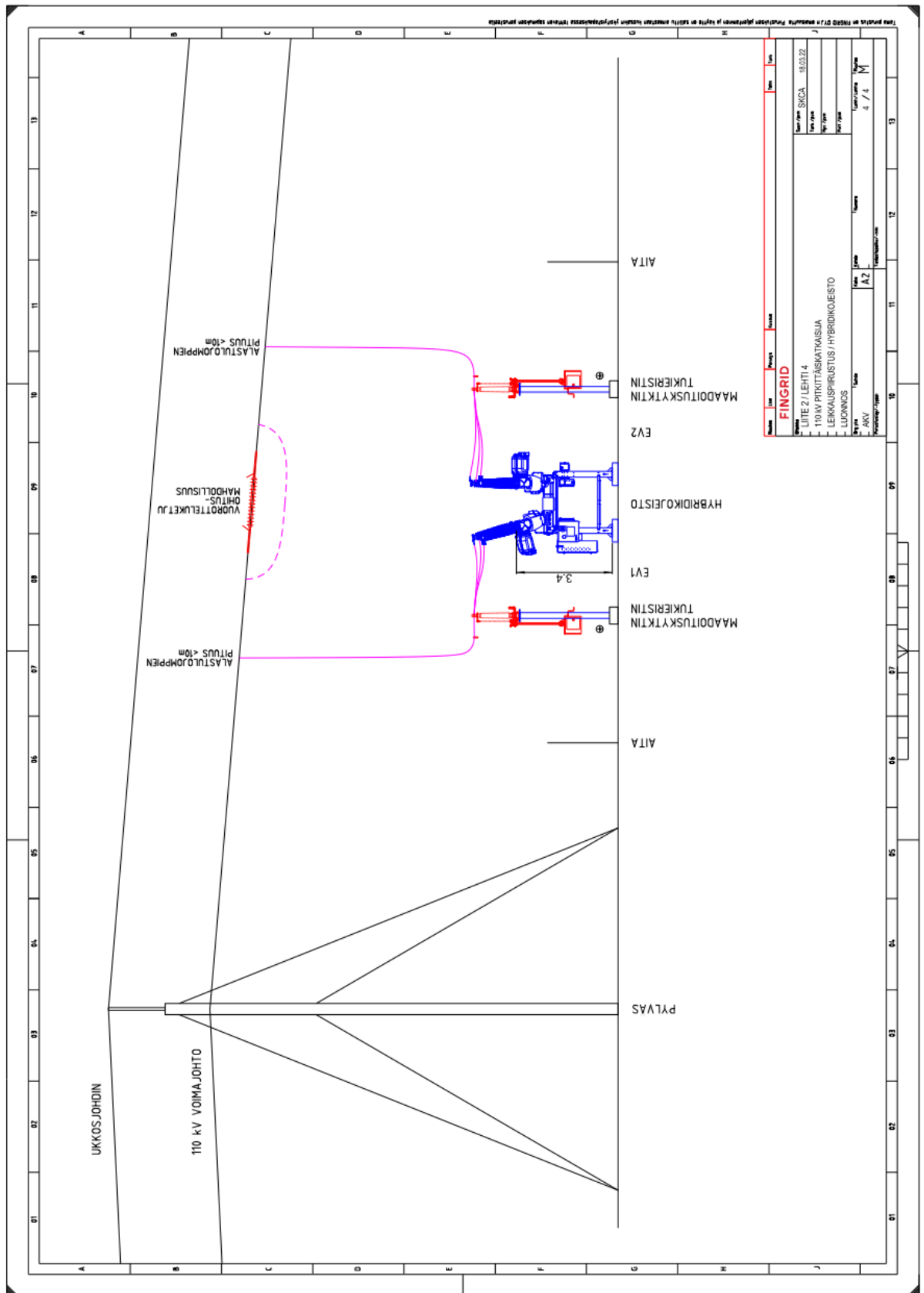
110 kV voimajohdon pitkittäiskatkaisija

Sijoituspiirustus hybridikojeisto:



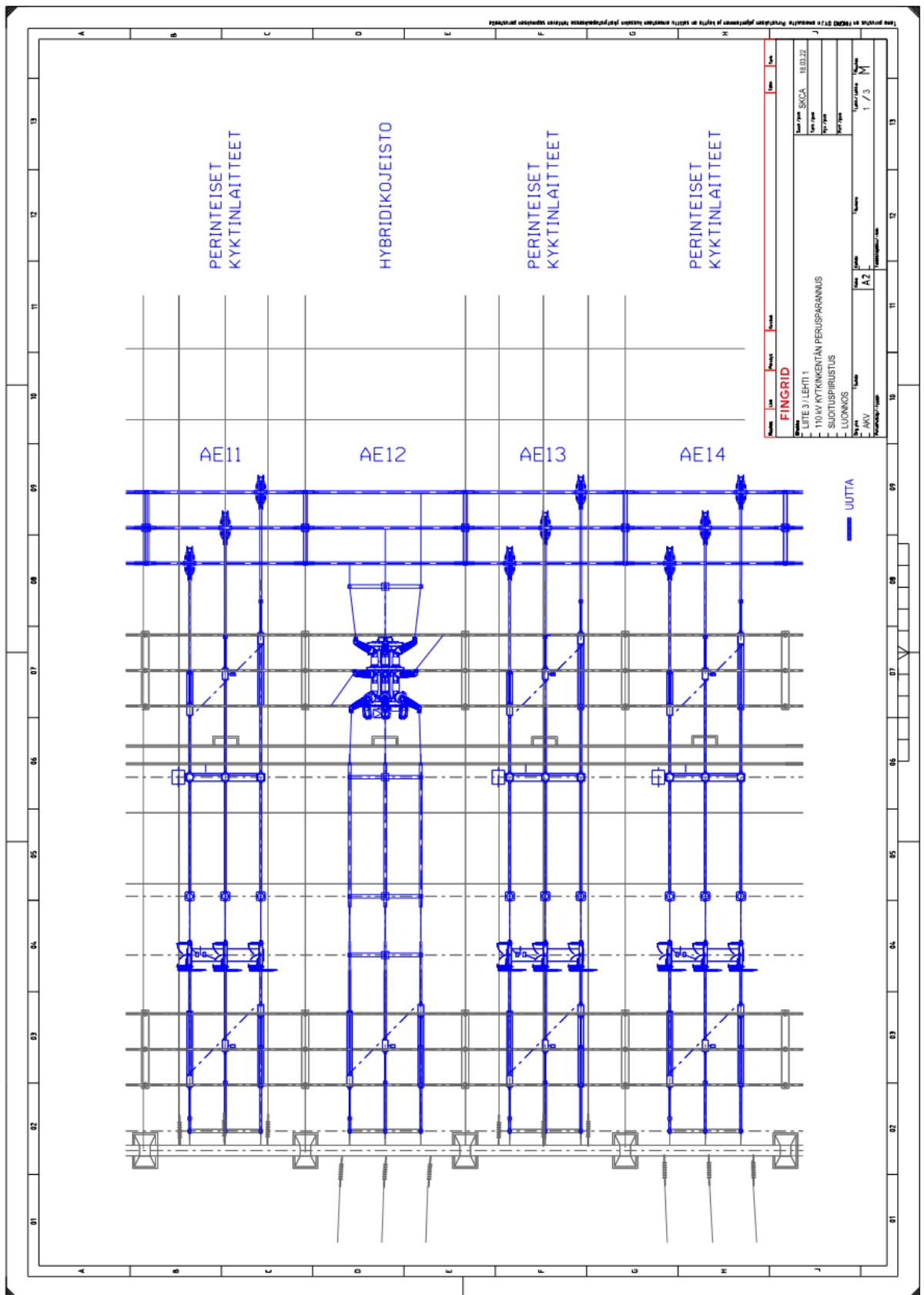
110 kV voimajohdon pitkittäiskatkaisija

Leikkauspiirustus hybridikojeisto:



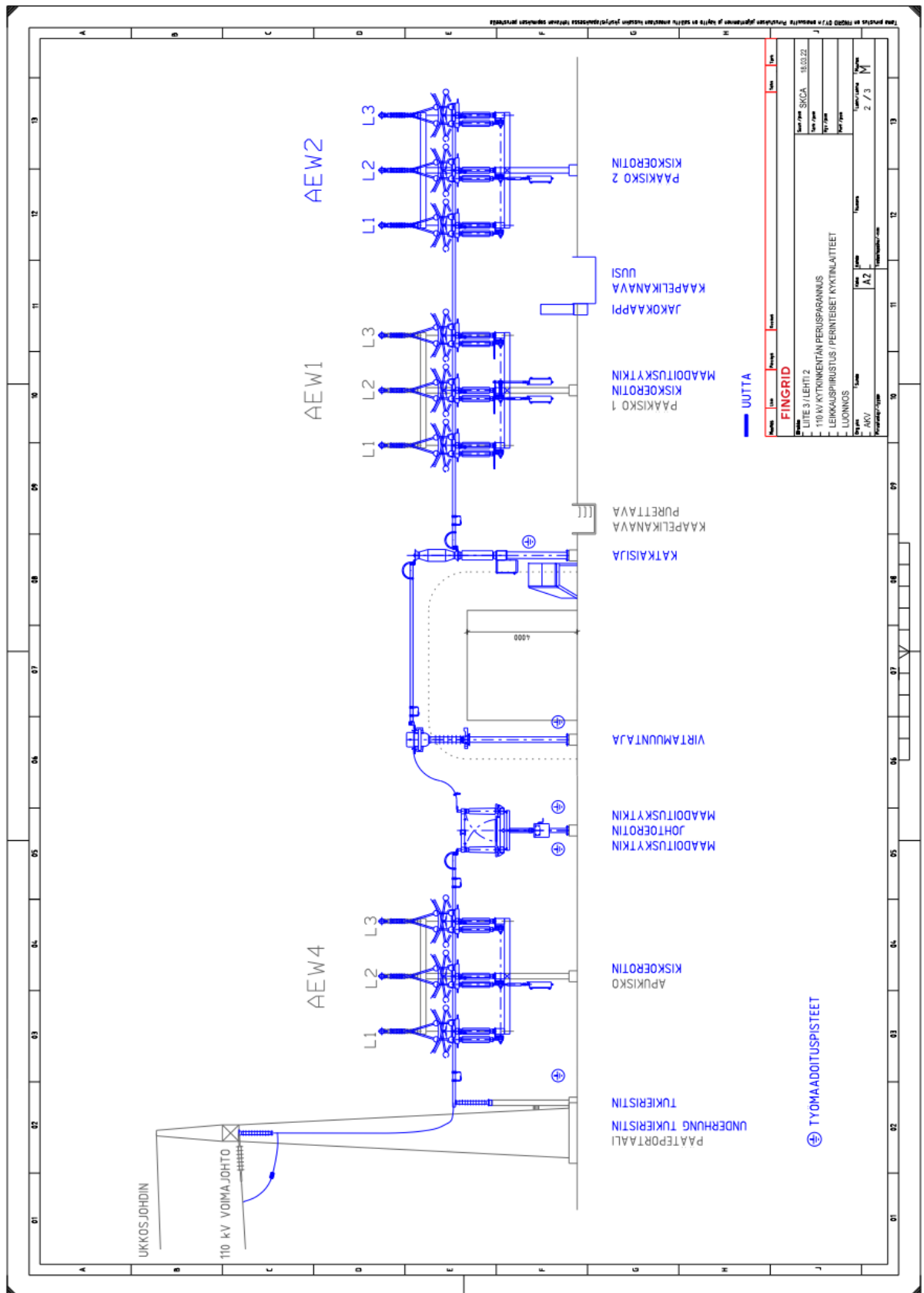
110 kV johtokentän perusparannus

Sijoituspiirustus:



110 kV johtokentän perusparannus

Leikkauspiirustus perinteiset laitteet:



110 kV johtokentän perusparannus

Leikkauspiirustus hybridikojeisto:

