

Antti Nikupeteri

ILMAERISTEISEN ULKOKYTKINLAITOKSEN LAITEVAIHDOT

ILMAERISTEISEN ULKOKYTKINLAITOKSEN LAITEVAIHDOT

Antti Nikupeteri
Opinnäytetyö
Kevät 2021
Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu

Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma, Sähkötekniikka

Tekijä: Antti Nikupeteri

Opinnäytetyön nimi: Ilmaeristeisen ulkokytkinlaitoksen laitevaihdot

Työn ohjaajat: Ensio Sieppi (Oulun ammattikorkeakoulu) ja Kimmo Honkaniemi (Caverion Industria)

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2021

Sivumäärä: 66 + 6 liitettä

Tämä opinnäytetyö käsittelee ilmaeristeisen avorakenteisen ulkokytkinkentän laitevaihtoja. Erityisesti paneudutaan laitevaihtoihin, joissa joudutaan työskentelemään jännitteisten osien läheisyydessä.

Työssä käsitellään sähköasemia yleisesti, kiskojärjestelmiä ja ilmaeristeisen kytkinlaitoksen tyypillisimpiä laitteita sekä käydään läpi ulkokytkinlaitostyöskentelyyn liittyvät standardit ja ohjeet jännitteisten osien läheisyydessä työskentelestä. Lisäksi esitellään Fingridin omistaman Pikkaralan 110 kV:n ilmaeristeisen ulkokytkinkentän laitevaihtojen työsuunnittelu ja toteutus sekä tarkastellaan työn aikana ilmenneitä ongelmakohtia ja niiden ratkaisuja.

Pikkaralan sähköaseman perusparannukseen liittyvät 110 kV:n kytkinlaitoksen laitevaihdot suoritettiin tässä työssä esiteltyjä menetelmiä ja dokumentteja käyttäen. Tässä työssä esiteltyjä ratkaisuja voidaan käyttää hyväksi myös tulevilla laitevaihdoissa soveltuvien osien.

Asiasanat: sähköasema, kytkinlaitos, saneeraus, suurjännite

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree Programme in Electrical and Automation Engineering, Electrical Engineering

Author: Antti Nikupeteri

Title of thesis: Equipment Replacements for Air-insulated Outdoor Switchyard

Supervisors: Ensio Sieppi (Oulu University of Applied Sciences) and Kimmo Honkaniemi (Caverion Industria)

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2021

Pages: 66+ 6 appendices

This thesis deals with the equipment replacements of an air-insulated open-structure outdoor switchyard. Particular attention is paid to equipment replacement when the work needs to be done in the vicinity of live parts.

This thesis focuses on substations in general and the most typical equipment of an air-insulated switchyard. Standards and instructions related to working in an outdoor switchyard in connection with working in the vicinity of live parts are also reviewed. In addition, the work planning and implementation of equipment replacements for 110 kV air-insulated outdoor switchyard of Pikkarala substation owned by Fingrid is presented. The problem areas and their solutions that arise during the work are examined.

The equipment replacements of the 110 kV switchyard related to the Pikkarala substation overhaul project were carried out using the methods and documents used in this work. Where applicable, the solutions used in this work can also be used in future equipment replacements.

Keywords: substation, switchyard, renovation, high voltage

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
SISÄLLYS	5
1 JOHDANTO	6
2 SÄHKÖASEMAN KUVAUS	7
3 SUURJÄNNITEKOJEISTOT	8
3.1 Avorakenteinen ulkokytkinlaitos	8
3.2 Avorakenteinen sisäkytkinlaitos	10
3.3 Kaasueristeinen kytkinlaitos (GIS)	10
4 KISKOJÄRJESTELMÄT	13
5 ULKOKYTKINLAITOKSEN LAITTEET	17
5.1 Katkaisijat	17
5.2 Erottimet	19
5.3 Mittamuuntajat	21
6 STANDARDIT JA TYÖSKENTELYKÄYTÄNTÖJEN OHJEET	26
6.1 Työ jännitteettömäksi erotetussa sähkölaitteistossa	26
6.2 Jännitetyö	27
6.3 Työ jännitteisten osien läheisyydessä	28
6.4 Fingridin ohjeet kytkinlaitostyöskentelyyn	29
7 TYÖN SUORITUS: 110 KV ULKOKYTKINKENTÄN LAITEVAIHDOT	33
7.1 Työn kokonaisuus	36
7.2 Uudet laitteet	40
7.3 Töiden suunnittelu	43
7.4 Toteutus	49
7.4.1 Esivalmistelut	50
7.4.2 Keskeytyksen aikaiset työt	52
7.5 Kehityskohteet	62
8 YHTEENVETO	63
LÄHTEET	64
LIITTEET	66

1 JOHDANTO

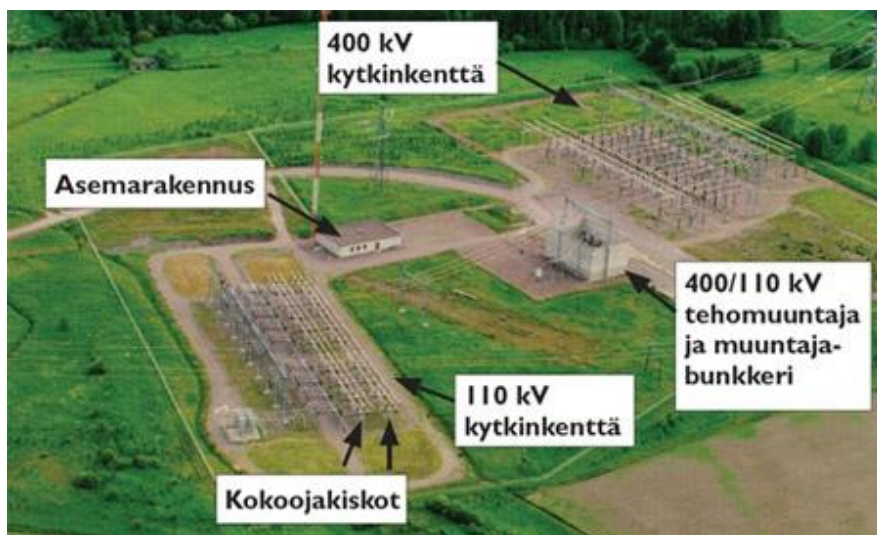
Suomen sähkönsiirtoverkossa on paljon peruskorjauksen tarpeessa olevia kytkinlaitoksia. Yleisin Suomessa käytetty kytkinlaitostyyppi on ilmaeristeinen avokytkinlaitos. Peruskorjauksessa tyypillisimmät ratkaisut ovat rakentaa kokonaan uusi kytkinlaitos uudelle paikalle vanhan viereen tai uusia kenttä nykyiselle paikalleen. Päädyttäessä uusimaan kytkinlaitos nykyiselle paikalleen voi koko kytkinlaitoksen uusinta yhtäaikaaisesti olla hankala toteuttaa sähköntoimitus- ja toimitusvarmuustekijöiden vuoksi. Uusimisen toteutustapaan vaikuttavia tekijöitä ovat muun muassa kytkinlaitoksen ja siirtoverkon rakenne sekä uusittavan kytkinlaitoksen sijainti siirtoverkossa.

Yhtenä ratkaisuna on peruskorjata kytkinlaitos nykyiselle paikalleen uusimalla se kenttä kerrallaan, jos kytkinlaitoksen kiskojärjestelmä sen mahdollistaa. Tällöin koko muu kytkinlaitos on jännitteinen ja normaalisti käytössä. Tämän vaihtoehdon tuoma lisähaaste on työskentely jännitteisten osien läheisyydessä. Jos työ katsotaan mahdolliseksi suorittaa kyseisellä tavalla turvallisesti standardeja ja ohjeita noudattaen, se on varteenotettava vaihtoehto peruskorjauksen suorittamiseksi.

Tässä työssä käydään läpi Pikkaralan sähköaseman 110 kV:n ilmaeristeiseen avokytkinlaitokseen tehtyjen laitevaihtojen työsuunnittelu ja töiden toteutus. Työ sisälsi paljon työskentelyä jännitteisten osien läheisyydessä käytössä olevalla kytkinlaitoksella. Pikkaralan sähköasema on Fingridin omistama ja laitevaihdot toteutti Caverion Industria. Laitevaihdot tehtiin vuoden 2020 aikana.

2 SÄHKÖASEMAN KUVAUS

Sähköasemat sijaitsevat sähköenergian siirto- tai jakeluverkossa ja niissä voidaan suorittaa kytkentöjä, jännitteen muuntamista tai sähköenergian siirron keskittämistä tai jakoa eri johdoille. Sähkö- eli kytkinasemat voivat olla rakenteeltaan erilaisia (kuva 1). Niiden rakenteeseen vaikuttaa olennaisesti, onko sen tarkoitus ainoastaan siirtää tai jakaa sähköä, liittyykö asemaan voimalaitos vai toimiiko se vain verkoston kytkentä- tai muuntoasemana. Myös aseman sijainnilla verkostossa on vaikutusta aseman rakenteeseen. Sähköasemista käytetään myös nimitystä kytkinasema, kytkinlaitos tai muuntoasema, jos asemalla on muuntaja. (1, s. 235; 2, s. 96; 3, s. 330.)



KUVA 1. 400/110 kV sähköasema avorakenteisilla ulkokytkinlaitoksilla (4).

Sähköasemilla on muuntajien ja kiskostojen lisäksi runsaasti erilaisia laitteita ja komponentteja. Yleisimpiä ja tärkeimpiä laitteita ovat katkaisijat, erottimet ja mitamuuntajat. Lisäksi suojaukseen käytetään releitä ja varokkeita sekä ylijännitesuojaukseen venttiilisuoja ja kipinävälejä. (1, s. 235.)

Sähköaseman sijoitukseen ja rakenteeseen vaikuttaa suuri joukko teknistaloudellisia seikkoja, jotka lopulta ratkaisevat aseman rakenteen ja sijainnin. Muuntoasemat on järkevintä sijoittaa kulutuksen painopisteisiin. Aseman sijainti verkossa ja laitoksen rakenne riippuvat tehosta, jännitteestä sekä asemaan liittyvän verkon rakenteesta. (3, s. 330.)

3 SUURJÄNNITEKOJEISTOT

Suurjännitekojeistoilla tarkoitetaan nimellijännitteeltään yli 45 kV:n laitoksia. Suomessa tämä merkitsee käytännössä 110 kV:n ja sitä suurempia jännitteitä. Kojeisto on rakennekokonaisuus, joka sisältää tarvittavat kytkentä-, suojaus-, ohjaus- ja valvontalaitteet. Suurjännitekojeistot voidaan jaotella sisä- ja ulkokojeistoihin. Jaottelua voidaan tehdä myös avorakenteisten ja koteloitujen kojeistojen kesken. Lisäksi kojeistossa käytettävää eristettä voidaan pitää yhtenä luokitteluperusteena tarkastellessa eri kojeistorakenteita. (3, s. 363; 2, s. 117.)

Seuraavaksi tarkastellaan suurjännitteillä yleisimmin käytettyjä kojeistotyyppejä eli avorakenteisia ulko- ja sisäkytkinlaitoksia sekä kaasueristeisiä koteloituja kytkinlaitoksia (GIS).

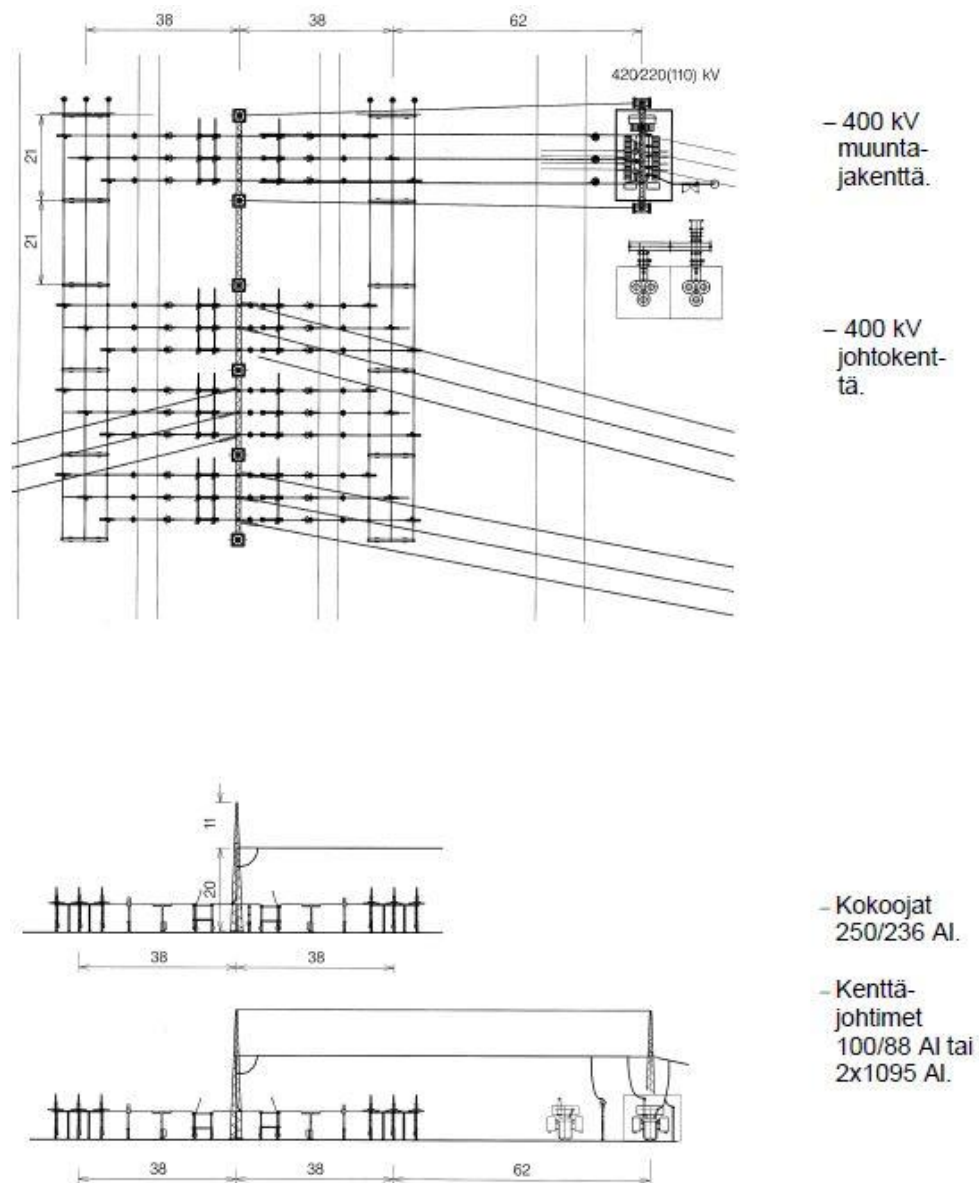
3.1 Avorakenteinen ulkokytkinlaitos

Avorakenteinen ulkokytkinlaitos on yleisin Suomessa käytetty rakenne suurjännitteillä. Se tarkoittaa ulkona olevaa kytkinlaitosta, jonka suurjännitteisten kokoojakiskojen eristeenä on ilma. Rakenne on käyttökelpoinen ja kustannustehokas koteloituihin ratkaisuihin verrattuna silloin, kun halpaa ulkotilaa on käytettävissä. Suomen suurjännitejohdot ovat pääosin avojohtoja, jonka vuoksi liityntä avorakenteiseen ulkokytkinlaitokseen on helppoa. (Kuva 2.) (2, s. 117–118; 3, s. 363.)



KUVA 2. Avorakenteinen ulkokytkinlaitos muuntajalla (6).

Maisemahaittoja voidaan vähentää valitsemalla ulkokytkinlaitoksen sijainti siten, että se ei ole vilkasliikenteisten teiden läheisyydessä tai välttämällä sijoittamista aukeille paikoille. Muuntaja- ja kiskokatkaisijakenttien sijoittamista kytkinlaitoksen päätyihin pyritään välttämään, sillä se hankaloittaa laajennuksia ja kenttien vahvennuksia. Laitesijoittelu pyritään tekemään sellaiseksi, että vähintään 110 kV:n avojohdot voidaan liittää mahdollisimman kohtisuoraan päätepylväisiin. (Kuva 3.) (2, s. 119.)



KUVA 3. Esimerkki 420 kV kaksoiskatkaisijajärjestelmän (Duplex) layout ratkaisusta (5, s. 13).

Virtakiskoina ulkokytkinlaitoksilla on käytetty kupari-, alumiini-, teräsalumiini- tai seosalumiiniköysiä. Nykyisin köysikiskostojen sijaan rakennetaan lähes yksinomaan putkikiskostoja. Niiden etuja köysikiskostoihin verrattuna ovat

- taloudellisuus
- oikosulkuvirtojen parempi hallittavuus
- kytkinlaitoksen pienempi pinta-ala ja korkeus
- helppo laajennettavuus
- virta- ja oikosulkukestoisuudeltaan hyvien tartuntaerottimien helppokäyttöisyys
- hyvät koronaominaisuudet
- linjakas ulkonäkö. (2, s. 115–116.)

3.2 Avorakenteinen sisäkytkinlaitos

Avorakenteisia kytkinlaitoksia on rakennettu tilan säästämiseksi myös sisätiloihin, jos ulkokytkinlaitos ei ole mahdollinen esimerkiksi teollisuuslaitoksissa ja kaupungeissa. Tällä ratkaisulla saavutetaan seuraavia etuja:

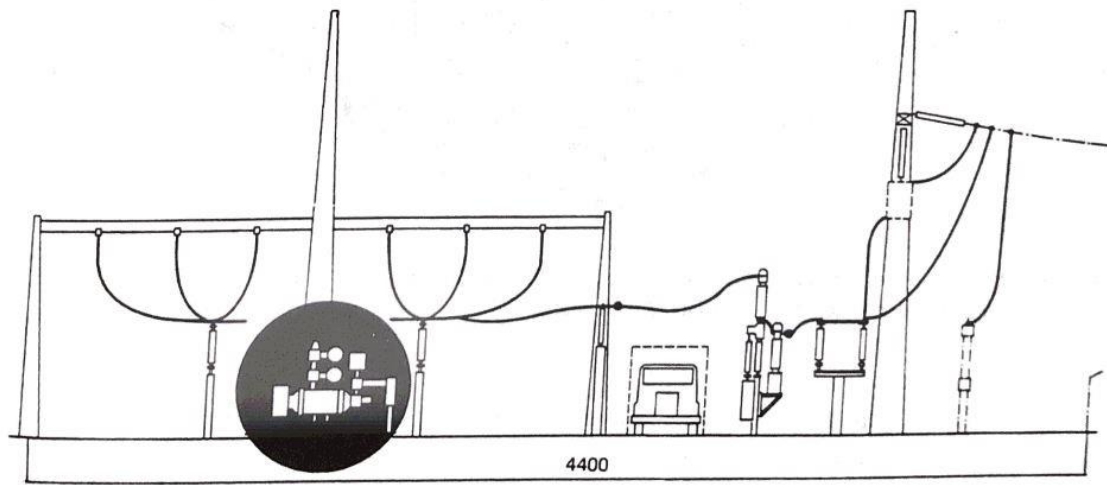
- laitos sopeutuu ympäristöönsä paremmin
- käyttötoimenpiteiden äänet eivät häiritse ympäristöä
- kojeisto on suojassa säältä ja ympäristösaasteilta
- huolto- ja muutostyöt voidaan tehdä säätilasta riippumatta.

Sisäkytkinlaitosten rakenteita on kehitetty tilan ja kustannusten säästämiseksi. Tilaa säästetään esimerkiksi käyttämällä eristettyjä kokoojakiskoja, vaunukatkaisijoita sekä läpivientieristimiin sijoitettuja virtamuuntajia. (3, s. 365.)

3.3 Kaasueristeinen kytkinlaitos (GIS)

Kaasueristeisten kytkinlaitosten historia ulottuu vuoteen 1969 ja nykyään ne ovat syrjäyttäneet avorakenteiset sisäkojeistot. Kaasueristeisten kojeistojen perusrakenne ei ole vuosien varrella muuttunut, mutta tekniset suorituskykyarvot ovat parantuneet ja laitteisto saadaan entistä pienempään tilaan, mikä onkin tärkeä etu avorakenteisiin ratkaisuihin verrattuna (kuva 4). SF₆-eristeisten kojeistojen

muita etuja ovat varma kosketussuoja, alhainen huollon tarve, pitkä käyttöikä ja kevyt rakenne. (5, s. 5; 2, s. 128.)

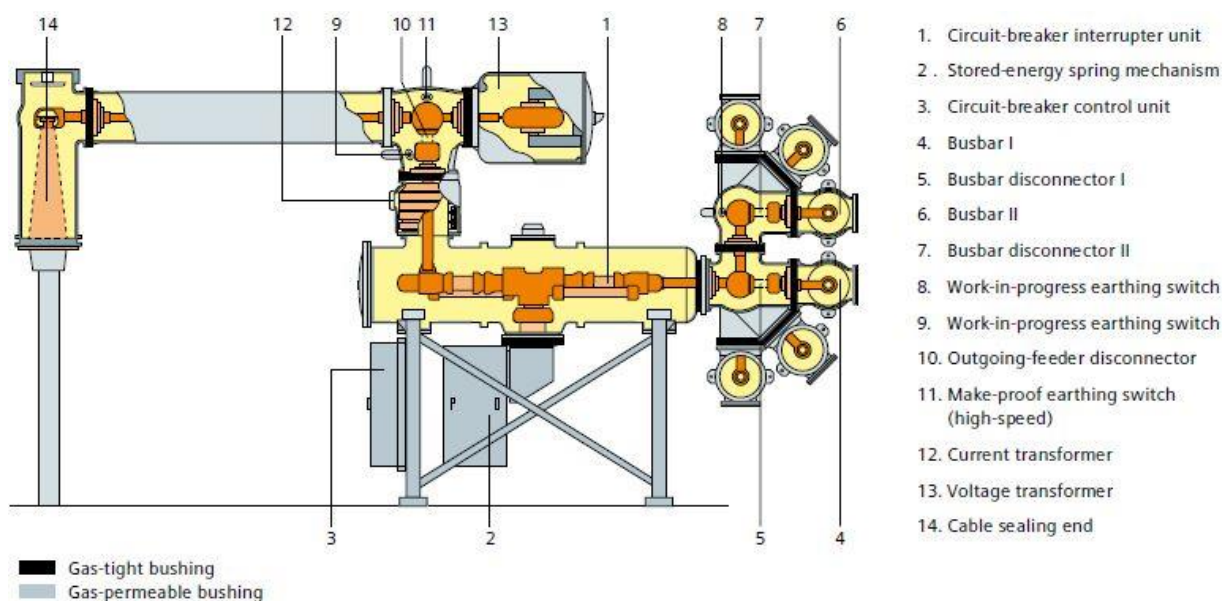


KUVA 4. Havainnekuva 132 kV avokojeiston ja vastaavan GIS-kojeiston tilantarpeesta (1, s. 313).

GIS-kojeistot koostuvat moduuleista, jotka liitetään asennuspaikalla yhteen laipaliitoksilla. Moduulitekniikka mahdollistaa monipuoliset kojeiden ryhmittelymahdollisuudet sekä nopean asentamisen (kuva 5). Kytkinlaitoksen komponentit kuten kokoojakiskot, erottimet, katkaisijat, mittamuuntajat, kaapelipäätteet ja yhdistysosat sijaitsevat maadoitetuissa koteloloissa, jotka on täytetty eristeaineena toimivalla rikkiheksafluoridilla (SF_6) (kuva 6). (5, s. 6; 2, s. 129.)



KUVA 5. Siemens 8DQ1 -kaksikiskoinen syöttökenttä ja pääkaavio (7, s. 5).



KUVA 6. Siemens 8DQ1 -kaksikiskoisen yksivaiheisesti koteloidun syöttökentän rakenne (6, s. 5).

GIS-kojeistot ovat yleensä kolmivaiheisesti koteloituja 170 kV:n jännitteeseen asti ja sitä suuremmilla jännitteillä yksivaiheisesti koteloituja. Kotelointimateriaalina käytetään alumiinia tai terästä. SF₆-kaasun paine kasvaa jännitteen kasvaessa ja voi olla suurimmillaan yksittäistapauksissa 6 bar. (5, s. 6; 2, s. 131.)

Suurjännite-GIS-laitoksissa liittynät voivat viedä eniten tilaa. Avojohto- ja kaapeliliityntöjen lisäksi voidaan käyttää koteloitua liityntää. Kaapeliliityntä sopii GIS-laitoksille parhaiten ja sitä käytetään myös avojohto- ja muuntajaliitynnöissä tilan säästämiseksi ja rakenteen suunnittelun helpottamiseksi. (2, s. 133.)

Suomen ilmasto-olosuhteissa GIS-laitokset on rakennettava lämmitettyyn tilaan jännitelujuus-, huolto- ja korjaussyistä. GIS-laitokset vaativat huoltoa huomattavasti vähemmän kuin avorakenteiset kytkinlaitokset. Koteloitu rakenne pienentää vikataajuutta ja siitä syystä GIS-laitoksissa usein suositellaan käytettäväksi yksinkertaisempaa kiskostoratkaisua kuin avorakenteisissa laitoksissa. (2, s. 135–136.)

4 KISKOJÄRJESTELMÄT

Kokoojakiskojen avulla energia siirretään tarkoituksenmukaisella tavalla ja kiskojärjestelmä on tärkeä tekijä aseman käytön ja käytettävyyden kannalta. Pääkiskoksi kutsutaan kiskoa, johon liitytään katkaisijalla ja apukiskoksi kiskoa, johon liitytään erottimella. (3, s. 332.)

Kiskojärjestelmän monimutkaisuus nostaa aina myös järjestelmän investointikustannuksia. Toisaalta kiskojen ja kytkinlaitteiden määrän lisääntyminen tarjoaa enemmän käytönaikaista joustavuutta. Joustavuus ilmenee esimerkiksi kuormitusten ryhmittelymahdollisuutena. Myös käytönaikaisia kytkentöjä ja huoltoja voidaan tehdä ilman käyttökeskeytyksiä. (2, s. 102.)

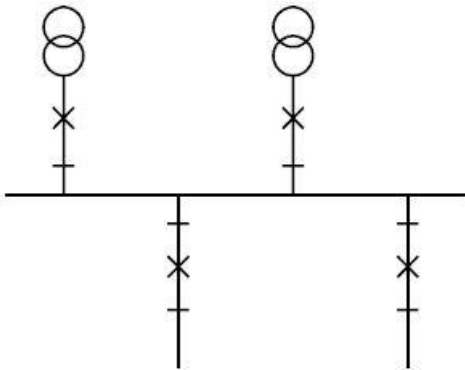
Kiskostojärjestelmän valintaan vaikuttavat monet asiat, kuten aseman tärkeys verkossa, muuntajien lukumäärä, kuormitusten ryhmittelytarve sekä myös rakentamisesta, huollosta ja käytöstä aiheutuvat kustannukset. Lisäksi on huomioitava verkon yleissuunnitelman asematiheys sekä mahdolliset uudet asemat. Kiskojärjestelmän valintaa ohjaavat suurelta osin myös sille asetetut käytettävyyden ja luotettavuusvaatimukset. Laitoskomponenttien alhainen vikatiheys sallii yksinkertaisemman kiskojärjestelmän valinnan. Tästä syystä GIS-kytkinlaitoksissa pystytään usein käyttämään yksinkertaisempia kiskojärjestelmiä ja se parantaa GIS-laitosten kilpailukykyä muita kytkinlaitostyyppejä vastaan. (3, s. 332; 2, s. 107.)

Seuraavaksi käydään läpi tyypillisimpiä kiskojärjestelmiä, joita käytetään suurjännitteillä.

Yleisimmät kiskojärjestelmät

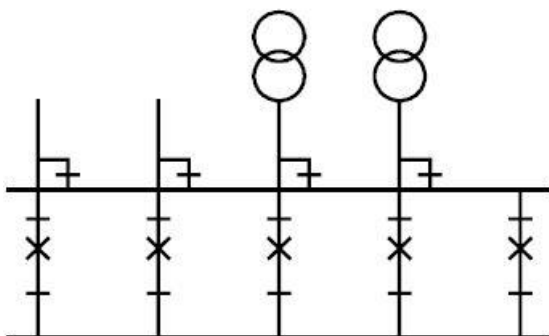
Kiskoton järjestelmä on yleinen ratkaisu yhden muuntajan yksinkertaisilla pääte- tai johdonvarsiasemilla. Käyttöä ei kiskottomassa järjestelmässä voi jakaa ja katkaisija ei ole ohikytkevässä. Johtoerottimen vika tai huolto aiheuttaa aina työn keston pituisen katkon. Järjestelmän oleellisin etu on edullinen hinta. (3, s.332.)

Yksikiskojärjestelmä (kuva 7) on perusominaisuuksiltaan kiskottoman järjestelmän kaltainen. Kiskoon voidaan lisätä joustavuuden lisäämiseksi pitkittäiskatkaisija tai -erotin. Järjestelmän etuna on edullisuus ja selväpiirteisyys, mutta se tarjoaa huonot mahdollisuudet esimerkiksi kuormien jaotteluun tai kiskon huoltoon. Mahdollisen kojevaurion aiheuttama käyttökeskeytys on korjausajan mittainen. (2, s. 102–103.)



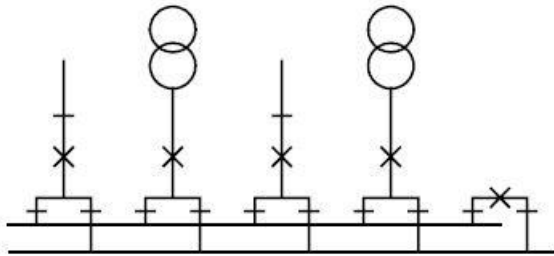
KUVA 7. Yksikiskojärjestelmä (5, s. 1).

Kisko-apukiskojärjestelmässä (kuva 8) on ns. kiskokatkaisija, jonka avulla voidaan korvata jokin toinen katkaisija. Lisäksi ohikytKentäerottimilla lähtöjä voidaan kytkeä ohi muun laitoksen. Lisäksi lähtöjä voidaan ohjata myös kiskokatkaisijan kautta. Kisko-apukiskojärjestelmässä huollot ja muutostyöt on helpompi toteuttaa ja suojaus on lisäksi selektiivinen ohikytKentätilanteissa. Järjestelmä on yksikiskojärjestelmää käyttövarmempi. Laitevika- ja huoltotilanteissa käyttökeskeytys kestää kytKentätoimenpiteiden vaatiman ajan. (2, s. 103.)

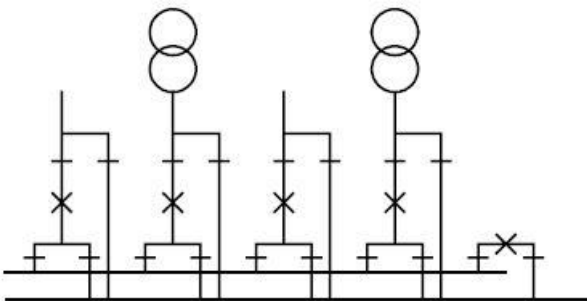


KUVA 8. Kisko-apukiskojärjestelmä (5, s. 2).

Kaksoiskiskojärjestelmän (kuva 9) avulla voidaan johtojen ja muuntajien ryhmittelyä muuttaa käytön aikana ja se on yleinen järjestelmä jakeluasemilla sekä teollisuuskojeistoissa. Järjestelmässä on mahdollisuus jakaa käyttö väliaikaisesti tai pysyvästi kahteen ryhmään. Huoltotoimenpiteet ovat helppoja, koska toinen kisko voidaan kytkeä jännitteettömäksi käytön häiriintymättä. Kaksoiskiskojärjestelmään voidaan liittää myös katkaisijan ohitusmahdollisuus ohikytkentäerottimilla (kuva 10). Tämä lisäys helpottaa katkaisijan huolto- ja korjaustöitä. Kiskokatkaisijalla on mahdollista suorittaa lukuisia erikoistehtäviä, esimerkiksi varmistaa johtojen suojauksia tai erottaa tärkeä lähtö muista häiriön alussa. (2, s. 103–105.)

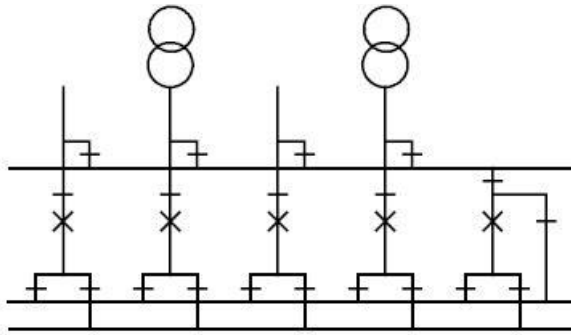


KUVA 9. Kaksoiskiskojärjestelmä (5, s. 2).



KUVA 10. Kaksoiskiskojärjestelmä katkaisijan ohikytkennällä (5, s. 3).

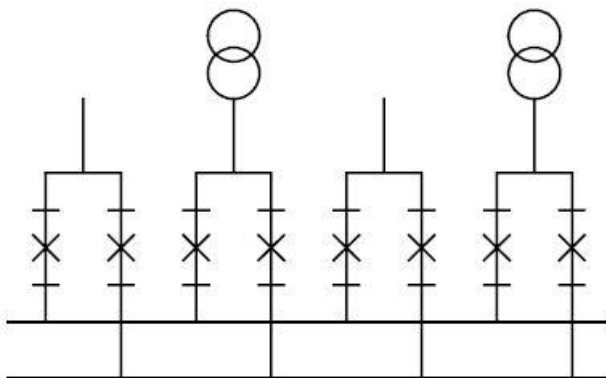
Kaksoiskisko-apukiskojärjestelmän (kuva 11) edut ovat hyvin samankaltaiset kuin kaksoiskiskojärjestelmässä. Apukiskon ansiosta saadaan kuitenkin monipuolisempia kytkentävaihtoehtoja verrattuna kaksoiskiskojärjestelmään. Kiskoista kaksi voidaan saada yhtä aikaa jännitteettömäksi. Lisäksi lähtöjä voidaan kytkeä yhteen muun laitoksen ohi tai yhdellä katkaisijalla voidaan syöttää kahta lähtöä. Huonona puolena on järjestelmän korkea hinta.



KUVA 11. Kaksoiskisko-apukiskojärjestelmä (5, s. 3).

Kaksikatkaisija- eli Duplex-järjestelmän (kuva 12) etuina voidaan pitää järjestelmän selväpiirteisyyttä, käyttövarmuutta, helppoa laajennettavuutta ja jaettavissa olevaa käyttöä. Lisäksi apukiskon ja kiskokatkaisijan puuttuminen helpottaa relesuojausta. Huonona puolena on järjestelmän hinta etenkin 110 kV:n ja sitä suuremmilla jännitteillä, sillä katkaisijoiden ja mittamuuntajien määrä on noin kaksinkertainen verrattuna kaksoiskisko-apukiskojärjestelmään. (2, s. 105.)

Duplex on yleisesti käytössä keskijännitteellä teollisuudessa ja suurissa jakelu-kojeistoissa, koska vaunukatkaisijaa käytettäessä ei tarvita kisko- eikä johtoerotimia. Tästä syystä se on kilpailukykyinen muihin järjestelmiin verrattuna. ”Riisuttu duplex” -nimitystä käytetään kytkinlaitoksesta, jossa muuntaja liittyy vain yhteen kiskoon, mutta johdot voivat liittyä kahteen kiskoon. (2, s. 105–106.)



KUVA 12. Kaksikatkaisija- eli duplex-järjestelmä (5, s. 4).

5 ULKOKYTKINLAITOKSEN LAITTEET

Sähköasemat sisältävät runsaasti erilaisia ensiöpuolen laitteita ja komponentteja, joiden avulla sähköä esimerkiksi muunnetaan, katkaistaan tai erotetaan. Tässä luvussa esitellään avorakenteisen ulkokytkinlaitoksen tyypillisimmät laitteet ja komponentit.

5.1 Katkaisijat

Katkaisijoita käytetään virtapiirin avaamiseen ja sulkemiseen. Niiden ohjaus voi toimia käsin tai automaattisesti. Tyypillinen automaattisesti tapahtuva ohjaus on katkaisijan avaaminen ylivirran vaikutuksesta oiko- tai maasulun vuoksi. Tällöin avautumiskäskyn antaa virtapiiriin suojarele. Katkaisijan on pystyttävä avaamaan sekä sulkemaan virtapiirin suurin oikosulkupiiri vaurioitumatta. Kyseisissä tilanteissa virta voi olla moninkertainen katkaisijan nimellisvirtaan verrattuna. (2, s. 162–163.)

Virtapiiri ei katkea heti katkaisijan koskettimien avautuessa, vaan virtapiiri pysyy suljettuna valokaaren välityksellä. Valokaarella on tärkeä osa virtapiirin katkaisussa. Virran ollessa suuri valokaaren johtavuus on hyvä, mikä sallii koskettimien avautumisen niin etäälle toisistaan, että se kestää täyden jännitteen valokaaren sammuttua. Virran pienentyessä valokaaren vastus kasvaa eli se toimii kytkimen tavoin muuttuen johteesta eristeeksi.

Katkaisijan katkaisukammiossa on väliaine. Sen tehtävä on sammuttaa valokaari sekä eristää katkaisukohdan jännitteiset osat muista katkaisijan osista. Katkaisijat voidaan jaotella katkaisukammiossa käytettävän väliaineen mukaan muun muassa seuraavasti (suluissa on ilmaistu pääasiallinen valmistuskausi):

- ilmakatkaisijat
- öljykatkaisijat (1905–1950)
- vähäöljykatkaisijat (1930–1985)
- paineilmakatkaisijat (1930–1970)
- SF₆-katkaisijat (1975–)
- tyhjiökatkaisijat (1980–). (Kuvat 13 ja 14.)



KUVA 13. 110 kV:n vähäöljykatkaisija (edessä) ja SF₆-katkaisija (takana) Pikkaralan sähköasemalla.

Kaikkia yllä lueteltuja katkaisijatyyppejä on vielä käytössä. Suurjännitteillä SF₆-katkaisijat ovat syrjäyttäneet lähes täysin muut katkaisijalajit. Nykyisin voidaan tilan säästämiseksi ja huoltovälien pidentämiseksi käyttää myös erottavia katkaisijoita. Niissä sammutuskammion avausväli on niin pitkä, että se täyttää erottimille asetetut määräykset. Näkyvä avausväli on ainoa erotinominaisuus, joka puuttuu erottavasta katkaisijasta. (2, s. 168–169, 185.)



KUVA 14. Yksivaiheisesti ohjattu 400 kV:n Alstom HGF 116/2B -SF₆-katkaisija Pikkaralan sähköasemalla.

5.2 Erottimet

Erottimen tehtävänä on muodostaa turvallinen avausväli erotettavan virtapiiriin ja muun laitoksen välille sekä saattaa laitoksen osa jännitteettömäksi turvallista työskentelyä varten. Erottimen avausvälin on oltava näkyvä tai siinä on oltava luotettava mekaaninen asennonosoitin ja siinä täytyy olla lukitusmahdollisuus auki- ja kiinni-asentoon. Lisäksi erottimen avausvälin jännitelujuuden täytyy olla suurempi kuin ympäristön muun eristyksen jännitelujuus. Erottimella voidaan muuttaa verkoston kytkentätilaa ja tarkoituksenmukaisella sijoittamisella voidaan verkoston osa tehdä jännitteettömäksi. Erottimia ei ole tarkoitettu kuormitetun virtapiiriin avaamiseen tai sulkemiseen ja niiden sulkemiskyky nopeasti ohjattuna on muutama ampeeri. (3, s. 285; 2, s. 190.)

Erottimien eristimien materiaali on suurjännitteillä yleensä posliinia tai silikoni-päällysteistä komposiittia. Erotintyyppit on lajiteltu koskettimien liikkumissuunnan

ja tukieristimien lukumäärän mukaan. Erotintyyppien nimitykset eivät ole standardeoituja ja ne saattavat vaihdella eri valmistajilla. (2, s. 193.)

Suurjännitteillä yleinen erotintyyppi on vaakatasossa liikkuva kiertoerotin (kuva 15). Jos pystysuunnassa on vapaata tilaa, voidaan käyttää ylöspäin aukeavia erottimia (kuva 16). Kiskoerottimina voidaan käyttää tartunta- eli pantografierottimia. Niiden etuna on vähäinen tilantarve. Tarvittaessa erottimet voidaan varustaa maadoitusveitsillä. (2, s. 193.)



KUVA 15. Muuntajan tähtipistekelan kiertoerotin maadoitusveitsellä Pikkaralan sähköasemalla.



KUVA 16. 400 kV:n pystysuuntaan avautuva erotin maadoitusveitsillä auki-asennossa Pikkaralan sähköasemalla.

5.3 Mittamuuntajat

Mittamuuntajat ovat erikoisrakenteisia muuntajia virran ja jännitteen mittaukseen. Niiden pääasiallisena tehtävänä on

- erottaa mittauspiiri galvaanisesti suurjännitteisestä päävirtapiiristä
- muuttaa mitta-alaa ja samalla mahdollistaa mitta- ja suojalaitteiden standardointi tiettyihin mitoitusarvoihin
- suojella mittareita ylikuormituksilta
- tehdä mahdolliseksi mittareiden ja releiden sijoittaminen etäälle varsinaisesta mittauspaikasta (esim. keskitetty mitta).

Mittamuuntajista valtaosa perustuu sähkömagneettisen induktion käyttöön. Jännitteenmittauksessa on käytössä myös kapasitiivisia jännitemuuntajia. Myös virtamuuntajiin sijoitettuja ulosottoja voidaan käyttää jännitteen mittaukseen. Optoelektroniikkaan perustuvia mittamuuntajia on myös tullut markkinoille etenkin 400–500 kV:n jännitteelle. (2, s. 198.)

Virtamuuntajat

Virtamuuntajat jaotellaan niiden käyttötarkoituksen mukaan mittaus- ja suojaus-tarkoituksiin valmistettuihin virtamuuntajiin ja ne eroavat toisistaan sekä vaati-muksiltaan että mitoituksiltaan. Standardit määrittävät virtamuuntajille tarkkuus-luokat ja suurimmat vaatimukset ovat yleensä energian mittaukselle. Virtamuun-tajassa voi olla monta erilaista rautasydäntä, joten eri käyttötarkoituksiin ei tarvita useita virtamuuntajia. (Kuva 17.) (2, s. 198–211.)

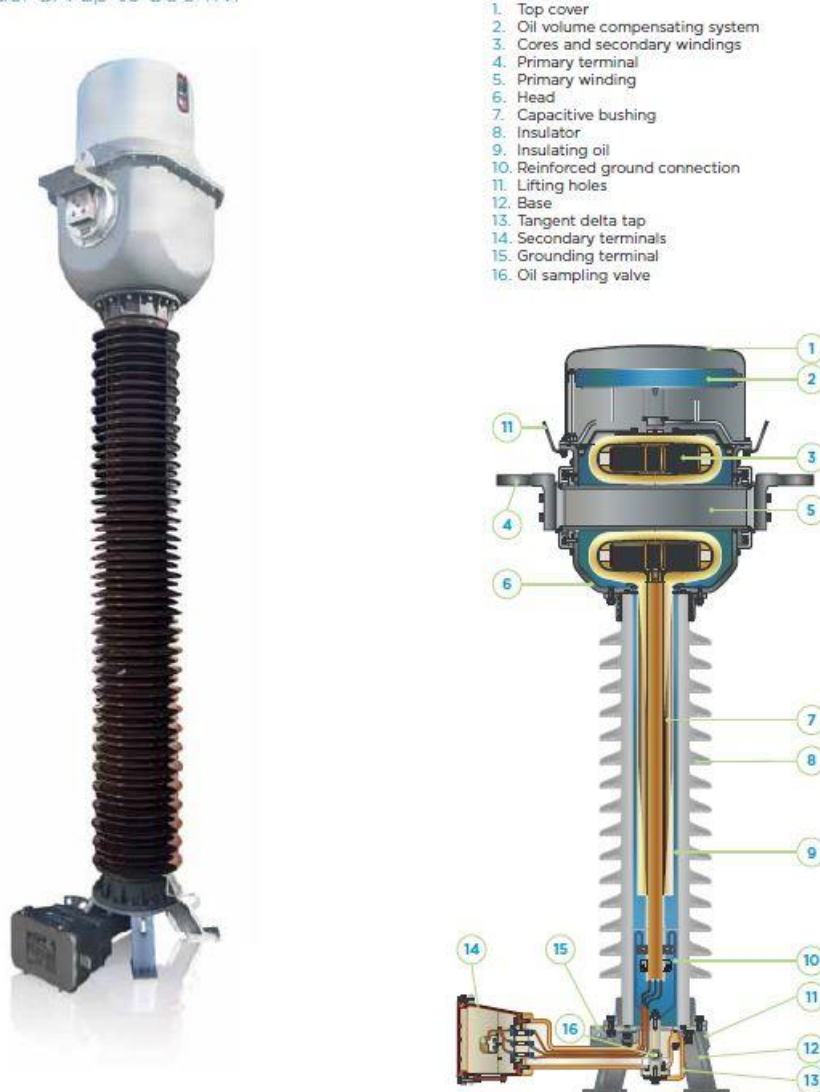


KUVA 17. Trench IOSK 420 400 kV:n virtamuuntaja Pikkaralan sähköasemalla.

Ulos asennettavat virtamuuntajat ovat pääsääntöisesti öljy- tai SF₆-eristeisiä. Ulkoisena eristeenä käytetään posliinikuorta tai silikonikumipäälysteistä komposiit-tia. Sen etuna on, että se ei sirpaloidu mahdollisessa sisäisen vian aiheuttamassa räjähdyksessä. Ensiökäämi ja sydänosat voivat sijaita joko maan potentiaalissa

olevassa säiliössä (*hair-pin-rakenne*) tai ne voivat olla sijoitettuna virtamuuntajan yläosaan johdon potentiaaliin (*top-core-rakenne*). (Kuva 18.) (2, s. 211.)

Oil-paper insulation:
model CA up to 800 kV.



KUVA 18. Öljyeristeisen ja top-core-rakenteisen Arteche CA -virtamuuntajan rakenne (8).

Jännitemuuntajat

Jännitemuuntajat jaotellaan virtamuuntajien tavoin mittaukseen ja suojaukseen tarkoitettuihin jännitemuuntajiin ja niille on annettu tarkkuusluokat. Toisiojännitteenä Suomessa käytetään yleensä arvoa 100 V ja sen johdannaisia kytkentätilanteesta riippuen. Jännitemuuntajat rakennetaan yleensä yksivaiheisiksi ja ne

voivat olla toimintaperiaatteeltaan joko induktiivisia tai kapasitiivisia. Eristeenä suurjännitteillä käytetään öljyä tai SF₆-kaasua. (Kuva 19.) (2, s. 215–218.)



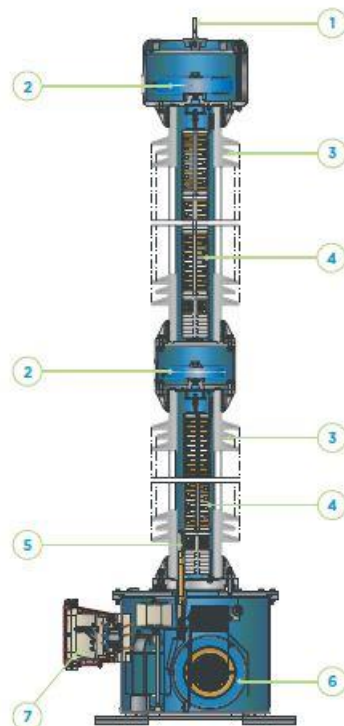
KUVA 19. 400 kV:n jännitemuuntajia Pikkaralan sähköasemalla.

Rakennepiirteiltään induktiiviset jännitemuuntajat ovat samankaltaisia kuin magneettiset virtamuuntajat. Usein 245 kV:n tai sitä suuremmilla jännitteillä kapasitiivinen virtamuuntaja on induktiivista edullisempi ja tästä syystä paljon käytetty ratkaisu kyseisillä jännitteillä (kuva 20).

Capacitive voltage transformer:
model DDB 72.5 kV to 170 kV;
model DFK 245 kV to 800 kV.



1. Primary terminal
2. Oil volume compensating system
3. Insulator
4. Capacitors
5. Intermediate voltage tap
6. Inductive voltage transformer
7. Secondary terminal box



KUVA 20. Öljyeristeisen kapasitiivisen Artech DDB/DFK -jännitemuuntajan rakenne (8).

6 STANDARDIT JA TYÖSKENTELYKÄYTÄNTÖJEN OHJEET

Seuraavaksi käsitellään eri työskentelykäytäntöjen määritelmiä ja vähimmäisetäisyyksiä, jotka perustuvat SFS 6002 Sähkötyöturvallisuus -standardiin sekä Suurjännitelaitteistojen sähkötyöturvallisuus 2015 -ohjeeseen. Tarkastelu tehdään suurjännitteisten avokytkinlaitosten näkökulmasta. Eri yrityksillä voi olla myös omia ohjeita tai vaatimuksia. Tässä luvussa käydään läpi Fingridin määräykset vähimmäisetäisyyksistä kytkinlaitosten osalta. Sähkötyöturvallisuuden kannalta on hyvin tärkeä tietää ja tunnistaa, mitä työskentelykäytäntöä kussakin työssä on käytettävä, jotta osataan valita oikeat työskentelymenetelmät.

Avokytkinlaitosten laitevaihtojen suorittamisen kannalta ihanteellinen ja tavoiteltavin tilanne on, että ne pystyttäisiin suorittamaan käyttäen työskentelykäytäntönä työskentelyä jännitteettömänä. Laitevaihdoissa voi kuitenkin olla tilanteita, joissa joudutaan työskentelemään jännitteisten osien läheisyydessä tai jopa jännitetyöalueella. Työkohteen vieressä voi esimerkiksi olla jännitteisiä osia, joiden jännitteettömäksi saattaminen ei ole mahdollista.

Sähkötöissä on käytössä kolme työskentelykäytäntöä:

1. Työskentely jännitteettömänä
2. Jännitetyö
3. Työskentely jännitteisten osien läheisyydessä. (9, s. 63.)

Kaikki kolme työskentelykäytäntöä perustuvat suojautumiseen sähköiskulta ja valokaarelta. Jos sähkötöitä ei voida tehdä jännitteettömänä tai lähityössä joudutaan jännitetyöalueelle, on työt tehtävä jännitetyönä. (9, s. 63.)

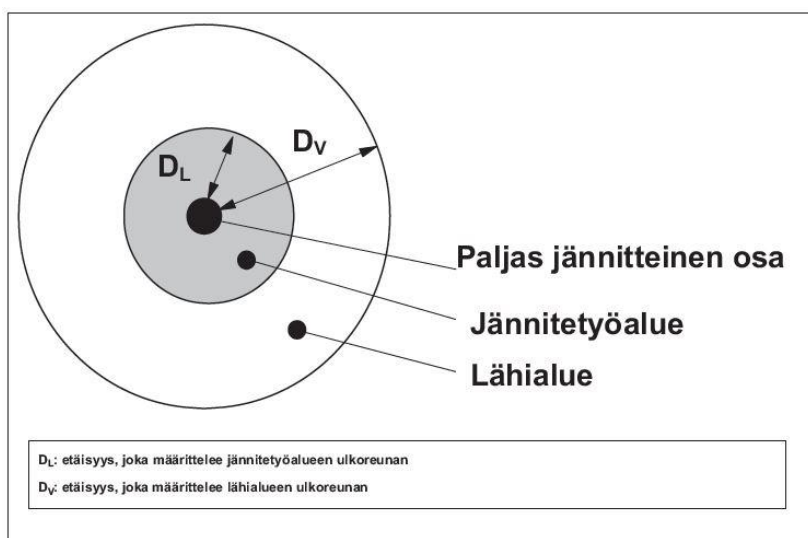
6.1 Työ jännitteettömäksi erotetussa sähkölaitteistossa

Työ jännitteettömäksi erotetussa sähkölaitteistossa on työtä, jossa erotettu työkohte on todettu jännitteettömäksi ja työmaadoitettu sekä varmistettu, ettei siihen voi kytkeä jännitettä työn aikana. Varmistaminen tehdään toimilaitteiden tai niiden sijaintitilojen lukitsemisella ja merkinnöin. Lähellä työkohdetta olevat jännitteiset

osat sijaitsevat riittävän etäällä siten, ettei niistä aiheudu vaaraa. Lisäksi työkohteessa esiintyvät latausjännitteet tulee poistaa tarvittavin työmaadoituksin. (11 s. 16.)

6.2 Jännitetyö

SFS 6002 -standardi määrittelee jännitetyön työksi, jonka aikana työntekijät ovat kosketuksissa paljaiden jännitteisten osien kanssa tai ulottuvat jännitetyöalueelle joko kehonsa osilla tai käsittelemillään työkaluilla, varusteilla tai laitteilla. Etäisyys D_L ilmoittaa tämän alueen ulkoreunan. (Kuva 21.) (10, s. 34.)



Kuva 21. Työskentelymenettelyiden alueet ja etäisyydet (10, s. 38).

Suomessa on käytössä oma kansallinen jännitetyöalueen ulkomittataulukko (taulukko 1) (10, s. 54–55).

TAULUKKO 1. Jännitetyöalueen ulkorajan ulkomitat Suomessa (SFS 6002 taulukko Y.1) (10, s. 55).

Nimellisjännite U_N kV	Jännitetyöalueen ulkorajan mitta D_{L1} m	Jännitetyöalueen ulkorajan mitta ilmajohdoilla ¹ D_{L2} m
≤ 1	Ei kosketusta	0,5
3	0,22	1,5 (1,0)
6	0,25	
10	0,35	
20	0,40	
30	0,56	
45	0,63	1,5 (1,2)
110	1,0	
220	1,6	
400	2,5	3,5

¹ Ilmajohdoilla suluissa oleva arvo tarkoittaa etäisyyttä suoraan jännitteisen osan alapuolella.

Seuraavia vakiintuneita toimenpiteitä ei pidetä jännitetyönä, vaikka niissä voidaan koskettaa jännitteistä osaa asianmukaisella välineellä tai joutua jännitetyö-alueelle:

- käyttötoimenpiteet ja toiminnan tarkastukset
- sulakkeiden, lamppujen ja tarvikkeiden vaihto
- kojeiston ovien tai luukkujen avaaminen sekä työskentelysuojien asentaminen
- riviliitintyyppisten liittimien jälkikiristys jännitetyöruuvitaltalla, jos liitin täyttää IP2X- tai IPXXB-vaatimukset. (10. s. 54.)

6.3 Työ jännitteisten osien läheisyydessä

Jännitteisten osien läheisyydessä tehtävät työt tehdään kussakin Euroopan maassa kansallisten säännösten mukaan. Suomessa on käytössä SFS 6002 -standardin liitteen Z mukaiset vaatimukset. Lähialue on jännitetyöaluetta ympäröivä alue ja sen ulkoreuna on ilmoitettu mitalla D_V ja se riippuu jännitetasosta. ”Läheisyydessä tehtävää työtä on kaikki työ, jossa työntekijä joko on lähialueen sisällä, tai ulottuu kehonsa osilla tai käsittelemillään työkaluilla, varusteilla tai laitteilla lähialueelle, muttei ulotu jännitetyöalueelle.” (9, s. 90.)

Lähityössä työntekijöiden turvallisuus varmistetaan käyttämällä riittävää valvottua etäisyyttä jännitteisistä osista tai käyttämällä eristeaineisia suojia. Opastuksen merkitys korostuu etenkin työskennellessä suojaamattomien jännitteisten osien läheisyydessä. Työalue on määriteltävä etukäteen ja tarvittaessa se on rajattava. (9, s. 92.)

Jännitteisten osien läheisyydessä tehtävät työt jaotellaan kahteen ryhmään:

- Sähköalan ammattihenkilön tai riittävästi opastetun henkilön tekemä työ. Sitä voidaan kutsua myös lähityöksi. Vaaditut etäisyydet näkyvät taulukossa 2.
- Muun kuin sähköalan ammattihenkilön (maallikko) tekemä työ, esimerkiksi rakennustyö, kuljetus- ja nostotyöt, siivous ja muut vastaavat työt. Vaaditut etäisyydet näkyvät taulukossa 3. (10, s. 68.)

TAULUKKO 2. Lähialueen ulkomitan D_v arvot muilla kuin ilmajohdoilla (SFS 6002 taulukko Z.1) (10, s. 68).

Nimellisjännite U_N kV	≤ 1	3	6	10	20	30	45	110	220	400
Lähialueen ulkomitta D_v m	0,5	1,2	1,2	1,4	1,4	1,6	1,6	2,0	3,6	4,5

TAULUKKO 3. Liikkuvan tai siirrettävän koneen ja liikuteltavan työvälineen työalueen vähimmäisetäisyys avojohdosta tai muusta paljaasta jännitteisestä osasta ja riippukaapelista. Suluissa oleva arvo tarkoittaa etäisyyttä suoraan jännitteisen osan alapuolella (SFS 6002 taulukko Z.2). (10, s. 62.)

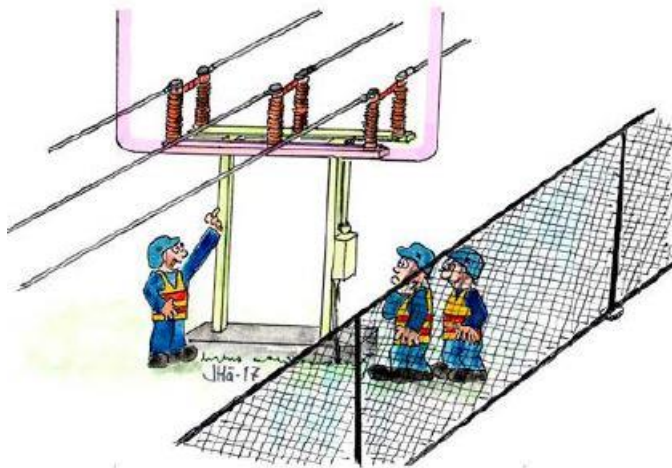
Nimellisjännite kV	Vähimmäisetäisyys m	
	Avojohto tai muu paljas jännitteinen osa	Riippukaapeli
≤ 1	2(2)	0,5
$> 1-45$	3(2)	1,5
110	5(3)	
220	5(4)	
400	5(5)	

Taulukon 3 etäisyyksiä käytetään myös, kun työskennellään sellaisella liikkuvalla koneella, jonka ulottuma on käyttäjän toimenpiteistä riippuva, esimerkiksi kaivinkone, puominosturi tai henkilönostin. Myöskään koneen työalue tai taakka ei saa ulottua vähimmäisetäisyyttä lähemmäksi jännitteistä osaa. Sähkölaitteistoon kohdistuvissa töissä voidaan kuitenkin käyttää taulukon 1 etäisyyttä D_{L2} , jos työ on ennakkoon suunniteltu ja sen tekevät ammattitaitoiset, kokeneet henkilöt sähköalan ammattihenkilön valvonnassa.

6.4 Fingridin ohjeet kytkinlaitostyöskentelyyn

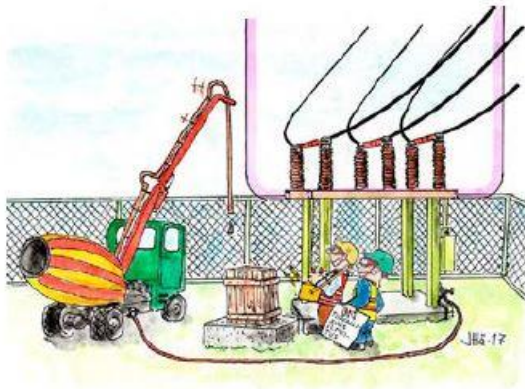
Fingridin ohjeet eri työskentelykäytäntöjen vähimmäisetäisyyksistä ovat samankaltaiset standardin SFS 6002 kanssa. Taulukoihin määritellyissä nimellisjännitetasoissa on jonkin verran eroja. Kuitenkin niissä nimellisjännitetasoissa, jotka löytyvät sekä standardista että Fingridin ohjeesta, etäisyydet ovat samat.

Sähköalan ammattihenkilöiden tekemille tai heidän valvonnassaan tehtäville töille on annettu vähimmäisetäisyydet, joita ei saa alittaa. (Kuvat 22 ja 23.)



U _N / kV AC ja DC	Vähimmäis- etäisyys [m]
	Sivulla ja alla työskentely
≤ 1	ei kosketusta
10	0,35
20	0,4
110	1,0
150	1,3
220	1,6
400	2,5
450	2,9
500	3,2

KUVA 22. "Kun ammattihenkilö työskentelee tai työ tehdään hänen valvonnassaan, ei taulukon vähimmäisetäisyyksiä saa alittaa" (12, s. 40).



U _N / kV AC ja DC	Vähimmäisetäisyys [m]	
	Sivulla työskentely	Alla työskentely
≤ 1	0,5	0,5
10	1,5	1,0
20	1,5	1,0
110	1,5	1,2
150	1,7	1,7
220	2,0	2,0
400	3,5	3,5
450	4,0	4,0
500	4,4	4,4

KUVA 23. "Kun jännitteisessä kytkinlaitoksessa työskennellään ammattihenkilön valvonnassa liikkuvalla tai siirrettävällä koneella, koneen minkään osan työskentelyalue, taakka mukaan luettuna, ei saa alittaa kuvan vähimmäisetäisyyksiä". (12, s. 41.)

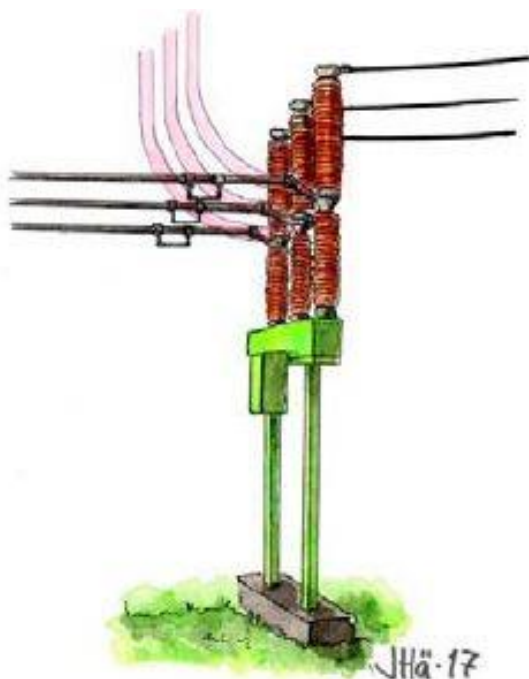
Maallikon tekemille töille on annettu vähimmäisetäisyydet, jotka koskevat myös maallikoiden koneella tekemiä töitä (kuva 24).



U _N / kV AC ja DC	Vähimmäisetäisyys [m]	
	Sivulla työskentely	Alla työskentely
≤ 1	2,0	2,0
> 1–45	3,0	2,0
110	5,0	3,0
150	5,0	4,0
220	5,0	4,0
400	5,0	5,0
450	6,0	6,0
500	6,0	6,0

KUVA 24. "Rakennus- ja muissa vastaavissa töissä on säilytettävä taulukossa mainittu vähimmäisetäisyys jännitteisiin osiin, kun työtä tekevät muut kuin sähköalan ammattilaiset" (12, s. 42).

Lisäksi Fingrid ohjeistaa erottavan katkaisijan läheisyydessä sekä jännitteisen laitteen hoitotasoilla työskentelystä (kuvat 25 ja 26.)



KUVA 25. "Kun työskennellään erottavan katkaisijan läheisyydessä, vähimmäisetäisyys jännitteisestä navasta on katkaisijan eristimen pituus" (12, s. 40).



KUVA 26. "Jännitteisen laitteen kuten katkaisijan tai muuntajan hoitotasolle saa nousta ainoastaan sähköalan ammattihenkilö tai hänen valvonnassaan oleva henkilö" (12, s. 41).

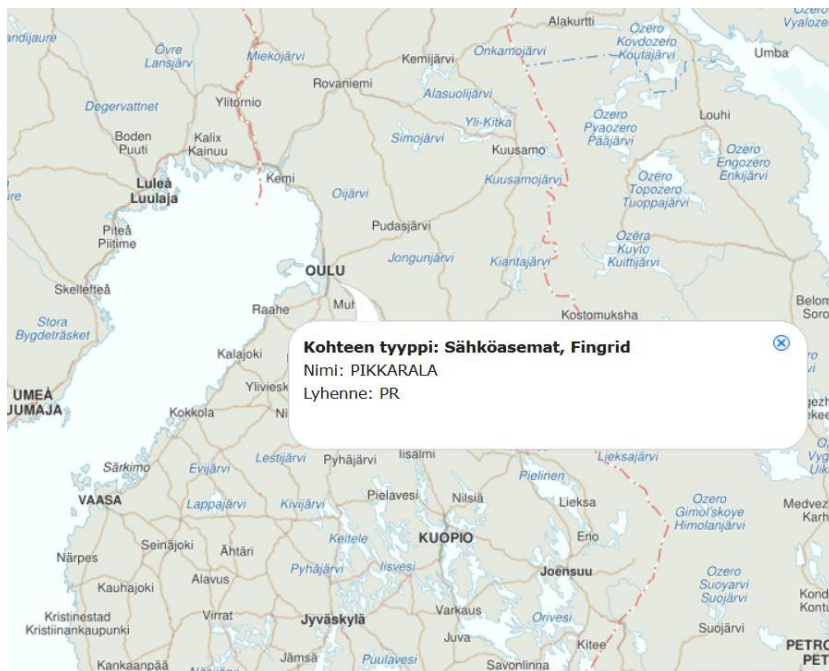
Lisäksi Fingrid ohjeistaa, että työsuorituksesta vastaava henkilö tai työnaikaisen sähköturvallisuuden valvoja voi tarvittaessa asettaa turvaetäisyysvahdin valvomaan, että työskentely tapahtuu turvallisella etäisyydellä jännitteisistä osista. Turvaetäisyysvahti ei saa osallistua varsinaiseen työhön ja hänen on oltava sähköalan ammattihenkilö, jos se on vaadittu valvontatehtävän vaatimukseksi. Muissa valvontatehtävissä voi toimia myös valvontatehtävään perehdytetty opastettu henkilö. (12, s. 26.)

7 TYÖN SUORITUS: 110 KV ULKOKYTKINKENTÄN LAITEVAIHDOT

Ulkokytkinkentän laitevaihdot kuuluivat merkittävänä osana Pikkaralan perusparannusprojektiin. Laitevaihtojen lisäksi asemalla nostettiin 110 kV kytkinlaitoksen oikosulkukestoisuus 40 kA:n tasolle, uusittiin toisen muuntajan portaali ja muuntajien tähtipistejärjestelmiä sekä lisäksi tehtiin muita perusparannustöitä. (13.)

Pikkaralan sähköasema

Työkohteena oli Fingridin Pikkaralan 400/110 kV:n sähköasema Oulussa (kuva 27).



KUVA 27. Sähköaseman sijainti kartalla (14).

Pikkaralassa on nimellisjännitteeltään 400 kV:n ilmaeristeinen osittain riisuttu Duplex-kiskojärjestelmä. Osittain riisutun siitä tekee toinen muuntajakenttä, joka liittyy vain yhteen kiskoon. Kahden muuntajakentän lisäksi on viisi 400 kV:n johdotolähtökenttää.

Asemalla on kaksi 400/110/20 kV:n päämuuntajaa ja niillä neljä reaktoriryhmää. Lisäksi siellä on 20/0,4 kV:n omakäyttömuuntaja ja se on kytketty reaktoreiden tavoin muuntajan 20 kV:n tertiäärikäämitykseen. (Kuva 28.)



KUVA 28. Kuvassa vasemmalla 400 kV:n kytkinlaitos ja valvomorakennus ja keskellä päämuuntajat sekä reaktorit. Kuvassa oikealla 110 kV:n kytkinlaitos ja valvomorakennus. (15.)

Päämuuntajat syöttävät nimellisjännitteeltään 110 kV:n ilmaeristeistä avokytkinlaitosta, jossa on kaksoiskisko-apukiskojärjestelmä. Kahden muuntajakentän lisäksi 110 kV:n kytkinlaitoksella on kiskokatkaisijakenttä sekä kuusi johtolähtökenttää. (Kuvat 29 ja 30.)



KUVA 29. 400 kV:n kytkinlaitos.



KUVA 30. Näkymä päämuuntajien välistä. Kuvassa etualalla reaktoreita ja taalempänä 110 kV:n kytkinlaitos ja sen valvomo.

7.1 Työn kokonaisuus

Työhön kuului yhteensä kuuden 110 kV kentän laitevaihdot. Kahden johtolähtökentän ja toisen muuntajakentän laitekanta oli uudempaa ja niitä ei vaihdettu. Pääkaavio, jossa on esitetty vaihdetut laitteet, on liitteenä 1. Kytkeinlaitoksen sijoituspiirustus, johon on merkattu vaihdettujen laitteiden sijainti, on liitteenä 2.

Erottimia vaihdettiin yhteensä 24 kpl, joista tartuntaerottimia oli 19 kpl ja kiertoerottimia 5 kpl. Aikaisempaan verrattuna kenttiin lisättiin maadoituserottimia. Lisäykset tehtiin maadoitusveitsillä uusiin erottimiin. Kaikki erottimet, myös maadoituserottimet, olivat moottorikäyttöisiä. (Kuva 31.)



KUVA 31. Vanha purettu tartuntaerotin.

Vanhat vähäöljykatkaisijat korvattiin uusilla SF₆-katkaisijoilla. Niitä vaihdettiin yhteensä 6 kpl. (Kuva 32.)



KUVA 32. Kuvassa vasemmalla edessä vanha vähäöljykatkaisija ja takana jo saneerattu kenttä SF₆-katkaisijalla. Oikealla puolella virtamuuntajat, joita ei vaihdettu projektissa.

Kenttien mittamuuntajiin ei tehty muutostöitä. Poikkeuksena oli AE04-kenttä, josta purettiin johtojännitemuuntajat ja otettiin käyttöön virtamuuntajien kapasitiiviset ulostulot.

Lisäksi projektin töihin kuului kokoojakiskojen maadoituskytkimien vaihto sekä pääkiskojen jännitemuuntajien vaihto kytkinlaitoksen AE13-kentän puoleisessa päässä.

Laitevaihtojen ja nimellisvirtojen muutosten vuoksi myös kenttien virtatiet ja liittimet uusittiin. Virtatienä käytettiin alumiiniköysiä sekä putkikiskoja. Johtolähtökenttien (4 kpl) nimellisvirta oli 2000 A ja niissä käytettiin 2x638 mm² alumiiniköyttä tai 100/88 mm alumiinista putkikiskoa. Uusituissa kiskokatkaisija- ja muuntajakentissä nimellisvirta oli 3150 A ja niissä käytettiin 2x1095 mm² alumiiniköyttä tai 100/80 mm putkikiskoa. (Kuva 33.)



Kuva 33. Purettu kiertoerotin, putkikiskoja ja liittimiä.

Projektin töihin kuului myös 110 kV kytkinlaitoksen oikosulkukestoisuuden nostaminen tasolle 40/100 kA. Vanhat vastaavat arvot olivat 31,5/80 kA. Oikosulkukestoisuuden nostamiseksi kytkinlaitoksen kokoojakiskojen tukieristimet vaihdettiin uusiin C12,5-luokan tukieristimiin. Yhteensä niitä vaihdettiin 99 kpl (kuva 34). Lisäksi riippuvat lautaseristimet vaihdettiin underhung-eristimiksi (kuva 35).

Paikalliskytkenät projektissa suoritti Fingridin palvelutoimittaja.



KUVA 34. Kokoojakiskon vanhat tukieristimet.

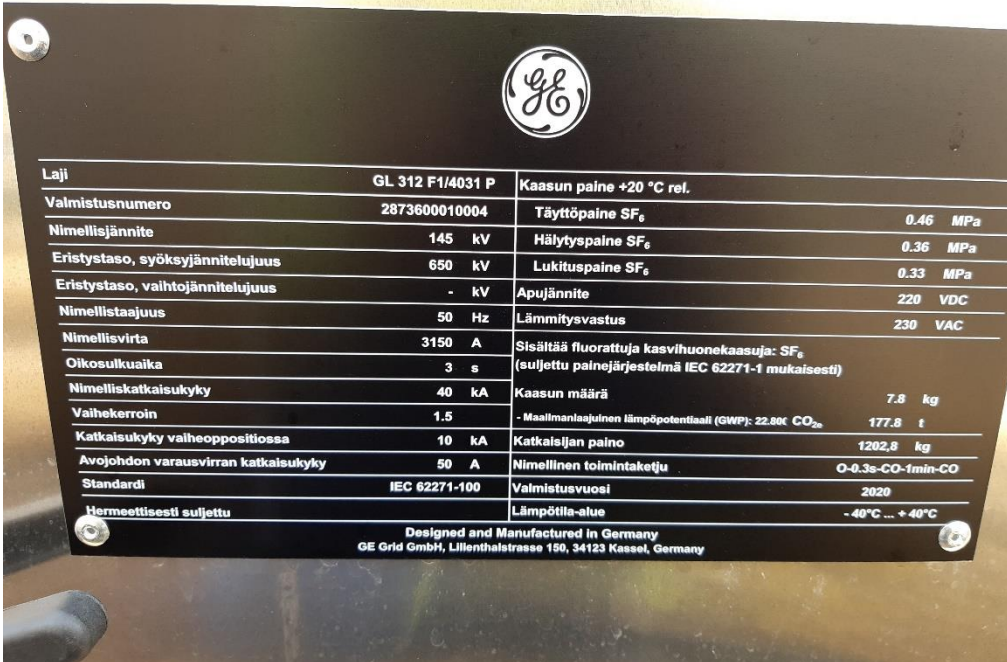


KUVA 35. Johtolähdön riippuvat lautaseristimet on vaihdettu uusiin underhung-eristimiin.

7.2 Uudet laitteet

Katkaisijat

Uusien SF₆-katkaisijoiden valmistaja on Grid Solutions ja niiden malli on GL312F1/4031. Kaikki katkaisijat ovat nimellisvirraltaan 3150 A ja nimellisjännitteeltään 145 kV (kuva 36).



Laji	GL 312 F1/4031 P	Kaasun paine +20 °C rel.	
Valmistusnumero	2873600010004	Täyttöpaine SF ₆	0.46 MPa
Nimellisjännite	145 kV	Häilytyspaine SF ₆	0.36 MPa
Eristystaso, syöksyjännitelujuus	650 kV	Lukituspaine SF ₆	0.33 MPa
Eristystaso, vaihtojännitelujuus	- kV	Apujännite	220 VDC
Nimellistajuus	50 Hz	Lämmitysvastus	230 VAC
Nimellisvirta	3150 A	Sisältää fluorattuja kasvihuonekaasuja: SF ₆	
Oikosulkuaika	3 s	(suljettu painejärjestelmä IEC 62271-1 mukaisesti)	
Nimelliskatkaisukyky	40 kA	Kaasun määrä	7.8 kg
Vaihekerroin	1.5	- Maailmanlaajuluinen lämpöpotentiaali (GWP): 22.8k CO ₂ e	177.8 t
Katkaisukyky vaiheoppositiossa	10 kA	Katkaisijan paino	1202.8 kg
Avojohtojen varausvirran katkaisukyky	50 A	Nimellinen toimintaketju	O-0.3s-CO-1min-CO
Standardi	IEC 62271-100	Valmistusvuosi	2020
Hermeettisesti suljettu		Lämpötila-alue	-40°C ... +40°C
Designed and Manufactured in Germany GE Grid GmbH, Lilienthalstrasse 150, 34123 Kassel, Germany			

KUVA 36. Grid Solutions GL312F1/4031 -katkaisijan tyyppikilpi.

Erottimet

Erottimien valmistaja on Grid Solutions ja niiden mallit ovat

- SPV (tartuntaerotin) (kuva 37)
- SPVT (tartuntaerotin maadoituserottimella)
- S2DA2T (kiertoerotin ja kaksi maadoituserotinta) (kuva 38)
- STA (kiskomaadoituserotin) (kuva 39).

Kaikkien uusien erottimien nimellisvirta on 3150 A ja nimellisjännite 123 kV.



KUVA 37. Grid Solutions SPV -tartuntaerotin kiinni-asennossa.



KUVA 38. Grid Solutions S2DA2T -kiertoerotin maadoitusveitsillä esikasattuna.



KUVA 39. Grid Solutions STA -kiskomaadoituskytkimet esikasattuna.

Jännitemuuntajat

Uudet kiskojännitemuuntajat ovat toimintaperiaatteiltaan induktiivisia, yksivaiheisia ja öljyeristeisiä. Jännitemuuntajien valmistaja on Artech ja mallinimi on UTD-123. Jännitemuuntajien muuntosuhde oli $110:\sqrt{3} / 0,1:\sqrt{3} / 0,1:3$ kV. Jännitemuuntajien ensiöpuolet on siis kytketty vaiheen ja maan väliin ja toisiopuolien jännite on 100 V. Toiossa on mittaus- ja avokolmiokäämi. Myös jännitemuuntajien toisiopuolen jakokotelot uusittiin. (Kuva 40.)



KUVA 40. Artech UTD-123 -jännitemuuntajia.

7.3 Töiden suunnittelu

Laitevaihdot toteutettiin yksi kenttä kerrallaan. Saneerattavan kentän viereiset kentät sekä muu kytkinlaitos olivat jännitteisiä työn aikana. Tämä toive tuli tilaajalta, sillä monen kentän yhtäaikainen pitkäkestoinen keskeytys olisi ollut hankala toteuttaa. Muuntajan syöttökenttä AE10 sekä johtolähtökenttä AE04 olivat hie-
man helpompia kenttiä työskentelyn kannalta. Niiden vieressä ei toisella puolella ollut jännitteistä kenttää, sillä AE04-kenttä on aseman päätykenttä ja AE10-kentän vieressä on tyhjä varakenttä AE11 (liite 2).

Liitteessä 3 on AE05-kentän laitevaihtoihin tehty työvaihesuunnitelma. Liitteessä 4 on AE05-kentän laitevaihtojen jännitetilanteet eri työvaiheissa, myös sallitut työ-
alueet ovat merkattuna. Kaikista keskeytyksen aikana tehdyistä laitevaihdosta tehtiin oma työvaihesuunnitelma ja jännitetilanneohje. Jännitetilanteiden muuttuessa korostui tiedonkulun ja työalueiden merkkauksen merkitys. Koko työryhmän on oltava tietoinen sen hetkisestä jännitetilanteesta. Työvaihesuunnitelmissa eri kenttien välillä oli pieniä eroja mutta pääosin ne noudattivat samaa kaavaa. Työ-
vaihesuunnitelma ja jännitetilanneohje olivat osa Fingridin turvallisuusilmoitusta, joka tehtiin jokaisesta työkokonaisuudesta.

Kytkinlaitoksen kiskojärjestelmä

Kytkinlaitoksella oleva kaksoiskisko-apukiskojärjestelmä mahdollisti hyvin suunnitellun yhden kentän kerrallaan saneeraamisen. Kiskoista kaksi oli mahdollista saada kerralla jännitteettömäksi. Toinen pääkiskoista saatiin vuorollaan jännitteettömäksi ilman koko kytkinlaitoksen käyttökeskeytystä ja näin kaikki laitevaihtotyöt voitiin suorittaa saneerattavassa kentässä. Apukisko oli jännitteettömänä laitevaihtokeskeytysten ajan. (Liite 1.)

Aikataulu

Pääsääntöisesti yhden kentän laitevaihdot suunniteltiin tehtäväksi 10 päivän aikana. Keskeytys aloitettiin ensimmäisen viikon maanantaina ja käyttöönotto tapahtui toisen viikon torstaina. Aikataulun toteutumiseksi piti työn esivalmisteluihin kiinnittää erityistä huomiota. Työaikataulutuksessa oli huomioitava koestamisiin, testauksiin ja käyttöönottoon vaadittavien asiakirjojen tekemiseen tarvittava aika. Tavoitteena oli, että koestukset ja testaukset voitaisiin ainakin joiltakin osin aloittaa toisen keskeytysviikon maanantaina.

Kaikissa kentissä perusperiaatteena oli, että ensimmäisessä vaiheessa jännitteiseksi jätetään AEW1 kisko ja Q1-erotin ei kuulu työskentelyalueeseen. Laitevaihdot aloitettiin AEW2 kiskon erottimesta Q2. Kun erotin oli vaihdettu ja sen mekaaninen toiminta testattu, kytkettiin AEW2-kisko jännitteiseksi ja AEW1-jännitteettömäksi. Näin Q1-erotin voitiin vaihtaa turvallisesti. Kiskon jännitetilanteen vaihto suunniteltiin tapahtuvaksi toisena keskeytyspäivänä. Tämä jännitetilanne pidettiin keskeytyksen loppuun asti. Muut kuin pääkiskoihin liittyvät kentän osat olivat koko keskeytyksen ajan jännitteettömiä ja työaluetta. (Liite 3.)

Nostot

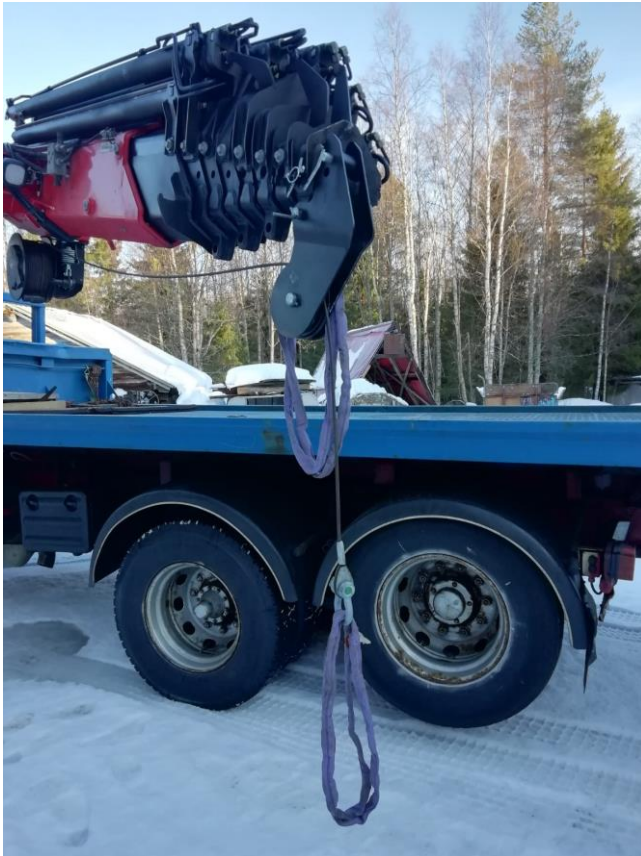
Laitevaihdot vaativat paljon koneellisia nostoja vaihdettavien laitteiden suuren koon ja painon vuoksi. Nostojen toteuttaminen piti suunnitella yksityiskohtaisesti koska vaihdot edellyttivät paljon työskentelyä jännitteisten osien läheisyydessä. Nostot päätettiin toteuttaa yleisesti laitevaihdoissa käytetyllä kuormausnosturilla varustetulla kuorma-autolla.

Työssä käytettävän auton ja nosturin rakenteeseen ja mittoihin kiinnitettiin huomiota. Esimerkiksi jos kytkinlaitoksen keskellä kulkevalla huoltotiellä olisi ajettu kuorma päällä kuorma-autolla, jossa on liian suuri lavakorkeus, olisivat etäisyydet jännitteisiin osiin voineet jäädä liian pieniksi. Liian iso auto olisi aiheuttanut hankaluuksia myös joissain nostoissa, joissa nostopaikka oli vaikeasti saavutettavissa.

Kuljettajan aikaisempi kokemus kytkinlaitostöistä katsottiin eduksi. Se helpotti työhön perehdytystä ja itse työn tekoa. Kokemus ja ymmärrys kytkinlaitostyöskentelystä ja -laitteista oli etu myös ajatellen SFS 6002 -standardin ”opastetun henkilön” käsitettä ajatellen.

Kaikki nostot käytiin ennakkoon läpi nosturin ja henkilönostimen sijainnin kannalta. Näin varmistettiin, että vähimmäisetäisyydet jännitteisiin osiin säilyivät. Myös uusien laitteiden siirtäminen asennuspaikan läheisyyteen nostoa varten suunniteltiin etukäteen, jotta turhalta tavaran siirtelyltä keskeytyksen aikana vältyttäisiin. Tavaran siirtelyyn oli käytettävissä kurottaja.

Kuormausnosturin varustukseen oli kuuluttava myös tukieristimien vaihtoon tarvittava vaijerivinssi. Jotta kokoojakiskojen purkamiselta tukieristinvaihdon vuoksi vältyttäisiin, kiskotukieristimien vaihtaminen suunniteltiin toteutettavaksi seuraavasti: 1. Nostin ottaa kokoojakiskon kannatukseen kiinteään puomiin vaihdon ajaksi 2. Vaijerivinssillä lasketaan vanha tukieristin alas ja nostetaan uusi ylös 3. Kokoojakisko lasketaan takaisin eristimen päälle. (Kuva 41.)



KUVA 41. Kokoojakiskojen tukieristinten vaihto suunniteltiin tehtäväksi vinssin avulla. Kuvan ylempi nostoliina kannattelee putkikiskoa eristimen vaihdon ajan ja kuvan alemmalla vaijerivinssiin kytketyllä nostoliinalla vaihdetaan tukieristin.

Laitevaihdoissa oli käytössä myös kaksi dieselkäyttöistä nivelpuomihenkilönostinta.

Etäisyydet jännitteisiin osiin

Ennakkosuunnittelussa haastavimmaksi osuudeksi vähimmäisetäisyyksien suhteen osoittautui Q1- ja Q2-erottimien välisten putkikiskojen asennus (liitteet 5 ja 6). Asennuksen aikana toisen erottimen yläpuolella olevassa kokoojakiskossa tulisi olemaan jännite, koska yhtäaikainen pääkiskojen keskeytys ei olisi mahdollista. Etäisyydeksi arvioitiin kuvien perusteella pienimmillään 1660 mm. Työssä sähköalan ammattihenkilö joutuisi menemään taulukon 2 lähialueen ulkomittaa D_v (2,0 m) lähemmäksi jännitteistä osaa asentaessaan putkikiskoa erottimen liittimeen pysyen kuitenkin taulukon 1 jännitetyöalueen ulkomittan D_{L1} etäisyyden ulkopuolella. Työ olisi lähialueella tapahtuvaa työtä eli ns. lähityötä. Putkikisko

asennettaisiin nosturilla ammattihenkilön valvonnassa ja sen nostoa koskisi kuvan 23 etäisyys eli 1,2 m.

Ensimmäisenä saneeratun kentän (AE10) töissä havaittiin Q1- ja Q2-erottimien välisten putkikiskojen asennukseen ja purkuun liittyvä riskitekijä. Purussa ja uuden asennuksessa piti koneellisesti kuljettaa pitkää putkikiskoa myös jännitteisten kokoojakiskojen alla. Jos putkikisko olisi päässyt heilahtamaan asennus- tai purkuvaiheessa ylöspäin, olisi vaarana ollut sen osuminen yläpuoliseen kokoojakiskoon. Ratkaisuna päätettiin katkaista vanhat putkikiskot erottimen Q1 puolelta riittävän etäältä kokoojakiskostosta AEW1. Näin jännitteisen kokoojakiskon AEW1 alla ei tarvinnut tehdä purkutöitä (kuva 42). Jäljelle jääneet putkikiskot purettiin pois Q1-erottimen purun yhteydessä yläpuolisen kokoojakiskon AEW1 ollessa jännitteetön.



KUVA 42. Purettavat putkikiskot kentässä AE12 on katkaistuna nuolien kohdalta läheltä Q1-erotinta. Yläpuolella oleva kokoojakiskosto AEW1 on jännitteinen.

Jotta uuden putkikiskon asennuksessa välttyttiin jännitteisen kokoojakiskon alapuolella tehtävältä asennukselta, tehtiin kahdelle putkikiskolle puinen teline,

jonka varaan putkikisko jätettiin väliaikaisesti odottamaan jännitetilanteen vaihtoa (kuva 43). Tämä edellytti myös keskimmäisen putkikiskon katkaisua ja jatkoliittimellä jatkamista myöhemmässä vaiheessa. Tällä toimenpiteellä välttyttiin riskialtiilta pitkien putkikiskojen asennukselta jännitteisten kokoojakiskojen alle ja lisättiin merkittävästi työturvallisuutta.



KUVA 43. Väliaikaiset putkikiskojen kannatustelineet Q1- ja Q2-erottimien välillä. Oikeanpuoleinen AEW1-kokoojakisko on kuvanottohetkellä jännitteetön.

Kuvassa 44 on valmis asennus Q1- ja Q2-erottimien välisistä putkikiskoista.



KUVA 44. Q1- ja Q2-erottimien väliset uudet putkikiskot on merkitty kuvaan punaisella ja lisätty jatkoliitin on ympäröity.

Muut työt voitiin tehdä ilman lähialueelle joutumista. Nostot, jotka menivät maallikkorajoja (taulukko 3) lähemmäksi jännitteisiä osia, tehtiin sähköalan ammattihenkilön valvonnassa noudattaen kuvan 23 vähimmäisetäisyyksiä. Käytännössä kaikki työt, myös niin sanotut maallikkonostot, suunniteltiin tehtäväksi sähköalan ammattihenkilön valvonnassa.

7.4 Toteutus

Sama pääperiaate laitevaihdossa toistui kaikilla kuudella saneeratulla kentällä. Kokoojakiskon tukieristimiä kentissä AE08-AE13 vaihdettiin myös T2-muuntajan ja AE10-kentän välisten virtaköysien vaihdon vuoksi tehdyssä kytkinlaitoksen täyskiskokeskeytyksessä.

7.4.1 Esivalmistelut

Keskeytysaikatauluissa pysymiseksi oli töitä pyrittävä tekemään mahdollisimman paljon ennakoon. Kaikki kentän saneeraukseen liittyvät työt, jotka pystyttiin tekemään ennen kentän varsinaista keskeytystä, tehtiin valmiiksi.

Vaihdettavat ensiökojeet ja terästelinet esikasattiin ja valmisteltiin nostoja varten ja niitä siirrettiin asennuspaikan läheisyyteen mahdollisuuksien mukaan (kuva 45).



KUVA 45. Tartuntaerottimia esikasattuna.

Ensiölaitteiden vaihdon vuoksi myös ohjauskaapeloinnin kytkennät ohjainkoteloilta olisi pitänyt purkaa ja kytkeä uudestaan. Projektissa olisi ollut mahdollista käyttää vanhoja ohjauskaapeleita. Niiden mekaaninen kunto todettiin heikoksi.

Myös kaapeleiden pituus oli kyseenalainen, koska uusien erottimien myötä ohjainten paikat hieman muuttuivat. Ratkaisuna päädyttiin uusimaan ohjainkoteloillemenevät kaapelit. Uudet kaapeloinnit voitiin tehdä ennen keskeytyksiä. Tällä ratkaisulla voitiin ohjainkotelot kytkeä ennen varsinaista kentän keskeytystä (kuvat 46 ja 47). Myös lisättävät ja uusittavat kaapelihyllyt voitiin suurelta osin asentaa ennakoon. Lisäksi ohjauskaapeleiden maanalaisia putkituksia uusittiin ja lisättiin ennakoon.



KUVA 46. Uusi katkaisija, jossa toisiokaapelit on kytketty.



KUVA 47. Kiertoterottimen uudet tolpat sekä ohjaimet, joissa toisiokaapelit on kytketty.

Laitevaihtojen vuoksi tarvittiin uusia kaapeleita myös valvomon ja jakokaappien välille. Valvomon toisiopiireihin tehtiin muutoksia sekä lisäyksiä ja myös ne tehtiin niin pitkälle valmiiksi kuin mahdollista ennen varsinaisia keskeytyksiä.

7.4.2 Keskeytyksen aikaiset työt

Kenttien saneerauksen aikana pääsääntöisesti koko muu kytkinlaitos oli käytössä ja toinen pääkiskoista oli aina jännitteinen. Saneerattavien kenttien yläpuolella saattoi myös kulkea jännitteisiä voimajohtoja.

Kyt kentätilanne 1 (kesto noin 2 vrk)

Tässä kytkentätilanteessa AEW1-kisko oli jännitteinen ja AEW2-kisko oli jännitteetön. Pääprioriteettina oli vaihtaa AEW2-kiskon tartuntaerotin Q2.

Työkohteen yhdyshenkilön saatua kytkennänjohtajalta työnvalmisteluluvan todettiin työkohteen jännitteettömyys ja kohteeseen tehtiin tarvittavat lisätyömaa-

doitukset. Tämän jälkeen työkohteen yhdyshenkilö antoi työnaloitusluvan varmistettuaan ensin työryhmän jäsenten olevan tietoisia työalueesta ja työn turvalliseen suorittamiseen liittyvistä asioista.

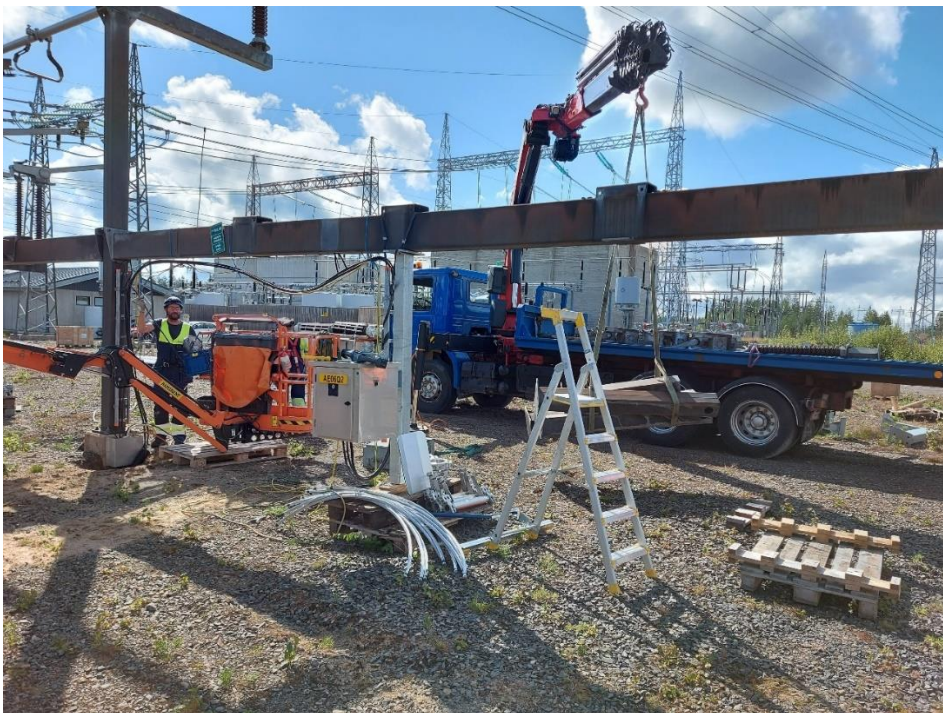
Ensiöpuolen työt aloitettiin Q2-erottimen purkamisesta ja uuden Q2-erottimen asennuksesta (kuvat 48, 49, 50 ja 51). Purkutyöt kentän toisessa päässä aloitettiin myös. Pääprioriteetti oli kuitenkin Q2-erottimen työt. Toisiopuolen työt aloitettiin jomppaamalla erottimien ja katkaisijan tilatiedot auki-asentoon, jotta muun muassa aseman kiskosuojarele toimisi normaalisti ja työstä aiheutuvilta tahattomilta tilatiedoilta sekä hälytyksiltä välttyttäisiin. Toisiopuolen työt keskittyivät Q2-erottimeen liittyviin purkuihin, kaapelointiin ja kytkentöihin.



KUVA 48. Vanhan putkikiskon katkaisu vannesahalla Q1- ja Q2-erottimien väliltä. Yläpuolella jännitteinen kokoojakisko. Etäisyys yläpuoliseen kiskoon yli 2,5 m. Henkilönostimen nostokorin oikealla asemoinnilla varmistetaan, ettei henkilö yllä lähityöalueelle (<2,0 m) kehonsa osilla tai käsittelemillään työkaluilla.



KUVA 49. Putkikiskojen purku Q1- ja Q2-erotimien väliltä.



KUVA 50. Uuden Q2-erottimen ohjainkotelo paikallaan ja ohjauskaapeleiden asennus kesken.



KUVA 51. Q2-erotin (oikealla) vaihdettu. Uudet putkikiskot asennettiin väliaikaisille tukitelineille Q1-erottimen (vasemmalla) puolella. Jännite Q1-erottimen yläpuolisella kokoojakiskolla.

Kun Q2-erotin oli saatu asennettua ja toisiopiirien asennukset olivat valmiina, testattiin erottimen toiminta. Testien jälkeen erotin lukittiin mekaanisesti ala-asentoon.

Myös mahdolliset kokoojakiskon tukieristinten vaihdot AEW2-kiskon osalta tuli tehdä tässä vaiheessa ennen kuin AEW2-kisko otettiin jännitteiseksi (kuva 52).



KUVA 52. Kokoojakiskon tukieristinten vaihto AEW2-kiskolla.

Kun Q2-erottimen työt olivat valmiina ja AEW2-kiskotukieristimet vaihdettu, ilmoitti työkohteen yhdyshenkilö kytkennänjohtajalle kyseisten töiden valmistumisesta.

Kyt kentätilanne 2 (kesto noin 8 vrk)

Paikalliskytkentöjen jälkeen AEW1-kisko oli jännitteetön ja AEW2-kisko jännitteinen. Kytkennänjohtajan luvan jälkeen voitiin myös Q1-erottimen vaihtotyö aloittaa. Myös muualla kentällä tehtäviä töitä jatkettiin.

Kentän töitä jatkettiin purkutöillä. Kun kaikki vanhat kojeet ja purettavaksi tarkoitettut raudat oli purettu, aloitettiin uuden kentän asentaminen kentän johtoportaan puoleisesta osasta. Samalla tehtiin kojeiden toisiopiirien uusinnat ja muutostyöt. (Kuvat 53, 54, 55, 56, 57 ja 58.)



KUVA 53. Alastulojohtimien tukieristimien vaihtotyö johtoportaalissa. Viereiset kentät ja voimajohdot ovat jännitteisiä.



KUVA 54. Vanhan Q1-erottimen purkua. Kuvan vasemmassa reunassa näkyvä kokoojakisko AEW2 on jännitteinen.



KUVA 55. Nostoja suoritettiin mahdollisimman paljon kentän molemmista päistä. Erottimien Q1 ja Q91 sekä katkaisijan nostot suoritettiin kytkinlaitoksen keskellä olevalta huoltotieltä.



KUVA 56. Uuden Q1-erottimen asennus. Kuvan vasemmassa reunassa näkyvä kokoojakisko AEW2 on jännitteinen.



KUVA 57. Katkaisijan asennus. Kuvassa vasemmalla puolella oleva kenttä sekä yläpuolinen linja ovat jännitteisiä.



KUVA 58. Putkikiskon asennus liittimeen. Yläpuolella jännitteinen kokoojakisko AEW2. Kiskojen välinen etäisyys on 2230 mm, eli työssä ollaan hyvin lähellä lähityöalueen ulkorajaa, joka on 110 kV:lla 2,0 m. Henkilönostimen nostokorin asemoinnilla varmistetaan, ettei henkilö yllä jännitetyöalueelle (1,0 m) kehonsa osilla tai käsittelemillään työkaluilla.

Asennustyöt saatiin valmiiksi pääosin ensimmäisen keskeytysviikon aikana. Normaali viikkotyöaika kuitenkin ylittyi työhön osallistuneella ryhmällä. Toisella viikolla suoritettiin koestuksia ja saatettiin kenttä lopulliseen luovutuskuntoon asiakkaalle. (Kuvat 59, 60 ja 61.)



KUVA 59. Saneerattava kenttä kuvattuna johtoportaalilta. Laitevaihdot on tehty ja muutama putkikisko on asentamatta. Oikeanpuoleinen kenttä on jo saneerattu ja vasemmalla vielä saneeraamaton. Molemmat ovat jännitteisiä kuvanottohetkellä. Kokoojakiskoista kauimmainen AEW2 on jännitteinen kuvanottohetkellä.



KUVA 60. Laitevaihdot tehtynä. Kuva kytkinlaitoksen huoltotieltä apukiskon suuntaan.



KUVA 61. Laitevaihdot tehtynä. Kuva kytkinlaitoksen huoltotieltä pääkiskojen suuntaan.

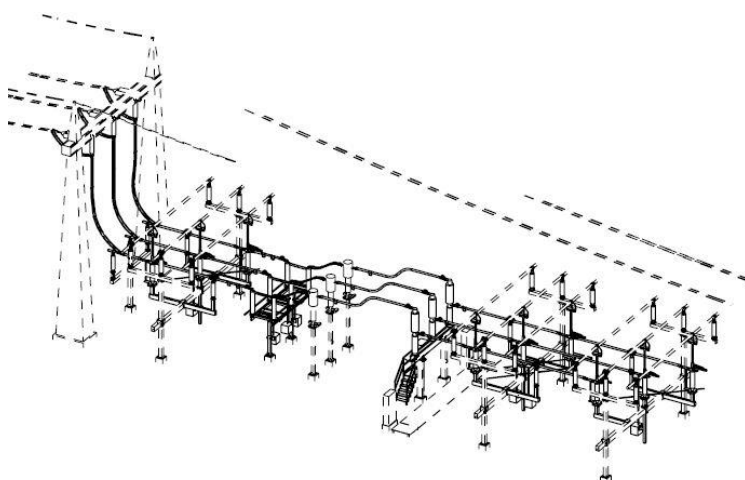
Koestukset sisälsivät seuraavia vaiheita:

- asennustarkastus
- kaapelien eristysvastusmittaukset
- piirien testaus
- katkaisijan toiminta-ajan mittaus
- erottimien ohjaukset paikallisohjauksella
- maadoitusten jatkuvuusmittaukset
- lukitusjärjestelmän testaus soveltuvien osien
- erottimien ja katkaisijan ohjaukset HMI:llä ja XA:lla kaukokäytöllä.

Koestusten lisäksi laitevaihdoista tehtiin tarvittavat pöytäkirjat ja ne luovutettiin Fingridille käyttöönottoa edeltävänä päivänä.

7.5 Kehityskohteet

3D-mallinnuksen käyttö suunnittelutyössä lisää mahdollisuuksia myös laitevaihdojen työsuunnitteluun jännitteisten osien läheisyydessä. 3D-mallinnuksen avulla voidaan vähentää työmaakäyntejä ja parantaa kustannustehokkuutta. Lopullinen työsuunnittelu on tehtävä kuitenkin kohteessa ja varmistettava suunnitelmien paikkansa pitävyys. Kuvassa 62 on Pikkaralan AE05-kentän 3D-mallinnos työpiirustuksessa, jossa uusittavat kohteet on merkattu ehyellä viivalla ja säilyvät kohteet katkoviivalla.



KUVA 62. AE05-kentän 3D-mallinnos työpiirustuksissa.

8 YHTEENVETO

Opinnäytetyön aiheena oli kuvailla Pikkaralan sähköaseman 110 kV:n laitevaihtojen työsuunnittelua ja töiden toteutusta. Tehtyjen laitevaihtojen erityispiirteenä oli työskentely jännitteisten osien läheisyydessä. Laitevaihdot suoritettiin yksi kenttä kerrallaan. Koko muu kytkinlaitos oli jännitteinen ja normaalisti käytössä työn ajan. Koko kytkinlaitoksen keskeytys kaikkien kenttien laitevaihtojen ajaksi olisi ollut hankala toteuttaa keskeytyksen pitkän keston vuoksi. Huolellisen ennakoon tehdyn työsuunnittelun avulla Pikkaralan laitevaihdot saatiin tehtyä turvallisesti ja aikataulussa. Työsuunnittelun avulla vältettiin jännitetyöalueella työskentely. Myös lähialueella tapahtuvan työskentelyn määrää saatiin vähennettyä käyttämällä vaihtoehtoisia menetelmiä.

Jokaisella kytkinlaitoksen laitevaihtoprojektilla on omat erityispiirteensä ja yhteistä kaikkiin tilanteisiin pätevää ohjetta ei voi tehdä. Tässä työssä esitettyjä menetelmiä ja dokumentteja on kuitenkin mahdollista hyödyntää tulevissakin projekteissa. SFS 6002 -standardin lisäksi työn tilaajalla voi olla omia ohjeita työskentelykäytäntöihin. Jännitteisten osien läheisyydessä tehdyissä laitevaihdossa korostuu työn suunnittelun tärkeys. Työn suunnittelussa ilmenee, voidaanko laitevaihtoja tehdä standardien vähimmäisetäisyyksiä noudattaen, sekä selvitetään mahdollisia sähkötyöturvallisuuden riskitekijöitä. Jokainen työvaihe tulee suunnitella etukäteen ja miettiä mahdolliset riskitekijät. Mikäli riskitekijöitä ilmenee, voidaan miettiä vaihtoehtoisia menetelmiä työn suorittamiseksi turvallisesti. Myös keskeytysajat saadaan hyvällä työsuunnittelulla mahdollisimman lyhyiksi ja se lisää sähkön toimitusvarmuutta.

LÄHTEET

1. Elovaara, Jarmo – Laiho, Yrjö 2007. Sähkölaitostekniikan perusteet. Helsinki: Otatieto.
2. Elovaara, Jarmo – Haarla, Liisa 2011. Sähköverkot II. Verkon suunnittelu, järjestelmät ja laitteet. Helsinki: Otatieto.
3. Aura, Lauri – Tonteri, Antti J. 1993. Sähkölaitostekniikka. Porvoo: WSOY.
4. Fingrid Oyj. Sähköasemat. Saatavissa: <https://www.fingrid.fi/kanta-verkko/kunnossapito/sahkoasemat/>. Hakupäivä 15.1.2021.
5. Suomalaiset ABB-yhtiöt 2000. Teknisiä tietoja ja taulukoita. Luku 13: Sähköasemat, kojeistot ja muuntamot. 9. painos. Vaasa.
6. Maviko Oy 2020. Sähköasemat. Saatavissa: <https://www.maviko.fi/tuotteet-ja-palvelut/sahkoasemat/>. Hakupäivä 28.1.2021.
7. Gas-insulated switchgear up to 550 kV, 63 kA, 5000 A Type 8DQ1. 2013. Siemens AG. Saatavissa: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwil2uav7rnuAhXDlosKHVu5D-8QFjA-BegQIARAC&url=https%3A%2F%2Fassets.new.siemens.com%2Fsiemens%2Fassets%2Fapi%2Fuuid%3Aeae0c6a63a0f7edf5372a1f5a370fef53de9ab%2F50001-g630-a240-x-4a00-ws-gis-8dq1-1-550-kv-lowres.pdf&usg=AOvVaw1xfHPaScGISEREHQ-rFOag>. Hakupäivä 26.1.2021.
8. High voltage instrument transformers. Artech. Saatavissa: <https://www.artech.com/es/cmris/document/default/fcfea021-efae-47f1-8726-ad0e8afd0ba7?uuid=4a470bca-eb16-4191-bd44-ab9a4fa14329>. Hakupäivä 4.2.2021.
9. Rousku, Henrik – Mäkinen, Pertti A. 2017. SFS 6002 käytännössä. Espoo: Sähköinfo Oy.

10. SFS 6002:2015. 2018. Sähkötyöturvallisuus. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS.
11. Energiateollisuus 2015. Suurjännitelaitteistojen sähkötyöturvallisuus 2015. 5. painos. Helsinki: Energiateollisuus ry.
12. Fingrid Oyj 2018. Käyttö- ja sähkötyön turvallisuus kantaverkossa. Helsinki: Fingrid Oyj
13. Fingrid Oyj. Pikkaralan sähköasema. Saatavissa: <https://www.fingrid.fi/kantaverkko/suunnittelu-ja-rakentaminen/sahkoasemat/pikkarala/>. Hakupäivä: 11.2.2021
14. Fingrid Oyj. Karttapalvelu. Saatavissa: <https://fingrid.navici.com/platform/?tab=feedback>. Hakupäivä 11.2.2020.
15. Google Earth. Google. Saatavissa: <https://earth.google.com/web/@64.91699117,25.73822174,37.62980078a,654.11385174d,35y,286.40965059h,0t,0r>. Hakupäivä 11.2.2020.

LIITTEET

Liite 1 Pääkaavio 110 kV. Salainen vain toimeksiantajan käyttöön.

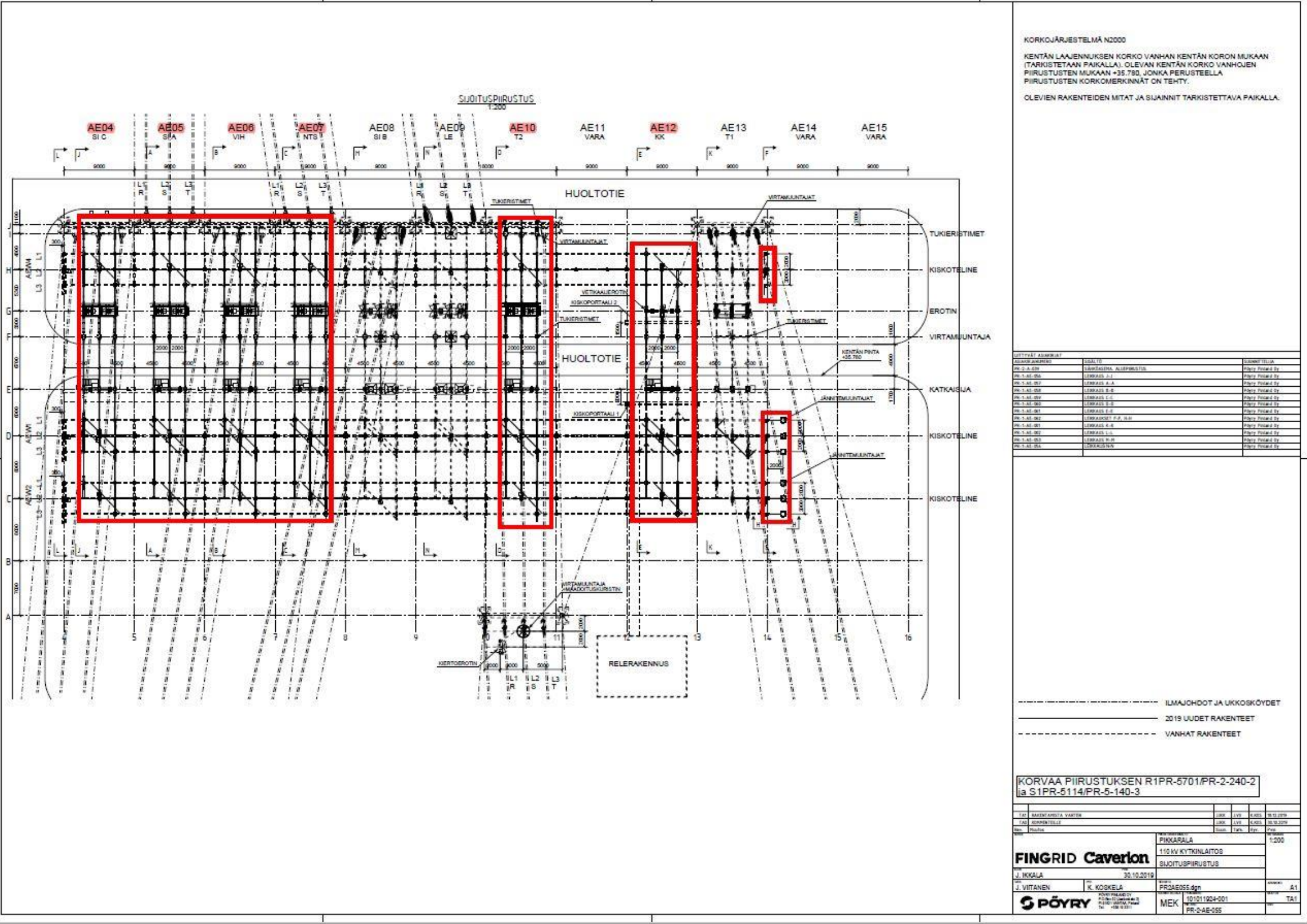
Liite 2 110 kV kytkinlaitos sijoituspiirustus

Liite 3 Työvaihesuunnitelma AE05

Liite 4 Jännitetilanne AE05

Liite 5 Leikkauspiirustus AE05

Liite 6 Asennuspiirustus AE05



Caverion

**PR57 PIKKARALA
TYÖVAIHESUUNNITELMA
16.7.2020
VERSIO TA1**

**LAITEVAIHDOT/-LISÄYKSET AE05:
Erotin AE05Q1, -Q2, -Q3, -Q4, -Q91, -Q92, -Q93
Katkaisija AE05Q0
Työaika 20.7 – 30.7.2020**

Kimmo Honkaniemi
Antti Nikupeteri
Joonas Suominen

TYÖKOKONAISUUS

- Vaihjetaan 110 kV kentän AE05 ensiolaitteet uusiin lukuun ottamatta virtamuuntajia, jotka ovat vaihdettu jo aiemmin.
- Työkokonaisuuteen on varattu 2 viikkoa ensimmäisestä keskeytyksestä käyttöönottoon (ensimmäisen viikon maanantaista seuraavan viikon torstaihin)
- Pääperiaatteena kaikki kentän tukieristimet, ensiöliittimet, köydet ja kiskot uusitaan
- Vanhaa toisiokaapelointia ja toisiokaapeliputkitusta hyödynnetään mahdollisuuksien mukaan
- Laitteet vaihdetaan vanhoille perustuksille
- Vanhoja teräsrakenteita hyödynnetään osittain ja uudet sovitetaan niille adaptereilla



KESKEYTYS JA TURVALLINEN TYÖALUE

- Työ tehdään sähköaseman ollessa käytössä niin, että kokoajan toinen pääkisko on jännitteinen ja kaikki aseman kuormat kulkevat sen kautta
- Ainoastaan työn alla olevaan kenttään saadaan keskeytys, joten jännite on aina viereisissä kentissä ja vähintään toisessa pääkiskossa
- Huomioitava, että viereisen kentän voimajohdot voivat kulkea osittain keskeytyksessä olevan kentän päällä
- Kyt kentätilannetta muutetaan työn edetessä ja on erittäin tärkeää, että koko työryhmä on kokoajan tietoinen turvallisesta työalueesta



TYÖRYHMÄ JA TYÖKONEET

- Työmaapäällikkö xxx (todennäköisesti vaihtuu xxx työn aikana)
- Asennukset: Työryhmä 1 xxx + hiab
Työryhmä 2 xxx + xxx
- Turvaetäisyysvahti nimetään työmaalla niitä vaativiin nostoihin tapauskohtaisesti
- Henkilönostin Z-puominen kuukulkija
- Hiab xxx
 - Lisävarusteena nosturiin asennettava vinssi
- Koestus xxx



ESIVALMISTELUT

- Terästelineiden esikasaus, pulttien läpikäynti ja esisovitus
- Kiertoerottimien kasaus vaakatelineelle, ensiöliittimien kiinnitys
- Kaikkien ohjaimien laippojen rei'itys kaapelivetoluettelon mukaisesti
- Kylttien kiinnitys ohjaimiin
- Uusien ohjauskaapeliputkien kaivu ja uusien kaapelien veto soveltuvin osin
- Kaapelinippujen veto valmiiksi kentälle ja kytkentä ohjaimen päästä soveltuvin osin
- Katkaisijan valmistelu asennukseen, ensiöliittimien kiinnitys



TYÖVAIHEET AE04

TYÖVAIHE 1 - KYTKENTÄTILANNE 1 – TOTEUTUS 20. – 21.7.2020

- Q2 EROTTIMEN VAIHTO
- Q3 JA Q4 EROTTIMIEN VAIHTO (ALOITETAAN)

TYÖVAIHE 2 - KYTKENTÄTILANNE 2 – TOTEUTUS 22.7 – 30.7.2020

- Q3 JA Q4 EROTTIMIEN VAIHTO (JATKUU)
- Q1 EROTTIMEN VAIHTO JA KATKAISIJAN Q0 VAIHTO
- KENTTÄTUKIERISTIMET, KÖYSITYKSET JA PUTKET
- TOISIOMUUTOKSET
- KYTKENNÄT
- KOESTUKSET

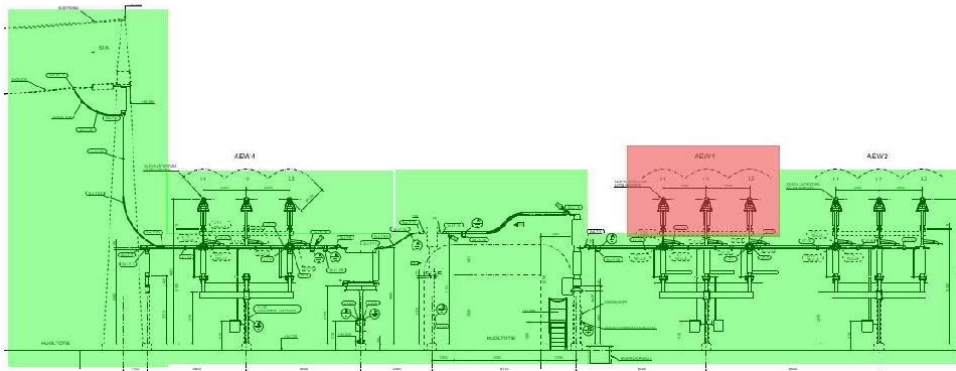
KÄYTTÖÖNOTTO 30.7.2020



KYTKENTÄTILANNE 1

Turvaetäisyys jännitteiseen osaan koneella / ihmisellä
Sivulla 1,5 m ja alapuolella 1,2 m

**Huomioitava myös osittain kentän yli kulkevat
AE06 voimajohdot!**



TYÖVAIHE 1 – KYTKENTÄTILANNE 1

Q2 EROTTIMEN VAIHTO

Q3 JA Q4 EROTTIMIEN VAIHTO

Työvaihe 1 Toteutus 20. – 21.7.2020

Kytkenät tehty klo 8:00 mennessä (aseman kuormat AEW1:lla), AEW2 maadoitettu, AEW4 maadoitettu, työlupa saatu

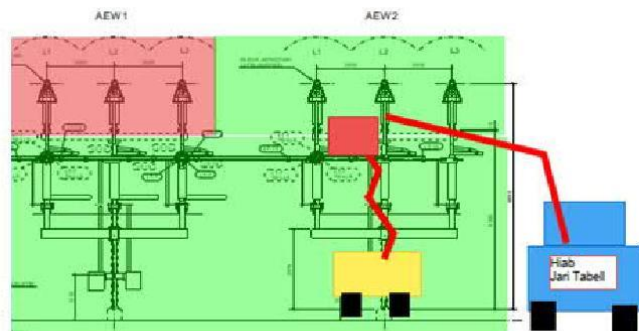
- Apusähköt katkaistaan jakokaapilta riviliittimiltä kaikille kentän kojeille
 - > DC-sähköt: ohjaus, moottori ja lukitus
 - > AC-sähköt: lämmitys
- Todetaan jännitteettömyys katkaisijan/erottimien ohjainkoteloilta
- Säh-asennusryhmä irrottaa kaikkien erottimien ja katkaisijan kaapelit ja ohjaimet
- Mek-asennusryhmä vaihtaa erottimen Q2

- Mek-asennusryhmä vaihtaa erottimet Q3 ja Q4
- Säh-asennusryhmä kytkee Q2:n ja testaa toiminnot. Testausta varten otetaan ohjaus-, moottori- ja lukitussähköt päälle jakokaapilta. Testien jälkeen Q2 lukitaan ala-asentoon käyttöönottoon asti.

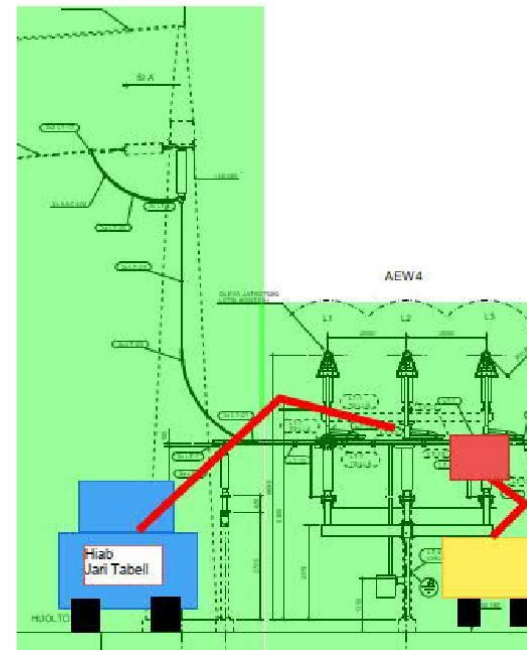


TYÖVAIHE 1 – KYTKENTÄTILANNE 1 Q2 EROTTIMEN VAIHTO Q3 JA Q4 EROTTIMIEN VAIHTO

Työkonesijainti Q2 työt



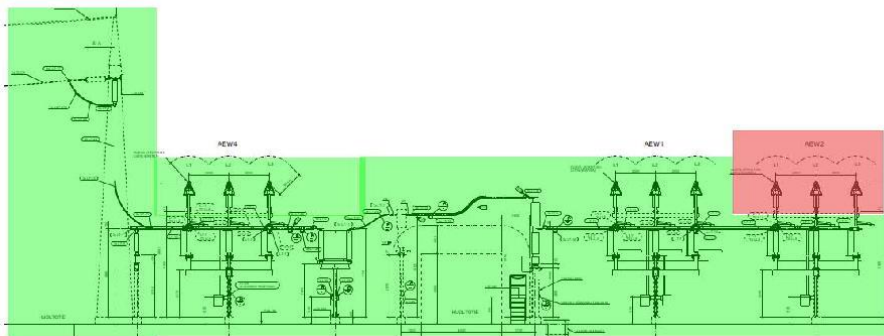
Työkonesijainti Q3, Q4 työt



KYTKENTÄTILANNE 2

Turvaetäisyys jännitteiseen osaan koneella / ihmisellä
Sivulla 1,5 m ja alapuolella 1,2 m

**Huomioitava myös osittain kentän yli kulkevat
AE06 voimajohdot!**



TYÖVAIHE 2

- Q1 EROTTIMEN VAIHTO JA KATKAISIJAN Q0 VAIHTO

- KENTTÄTUKIERISTIMET, KÖYSITYKSET JA PUTKET

Työvaihe 2 Toteutus 22.7 – 30.7.2020

- Kytkenät tehty klo 8:00 mennessä (aseman kuormat AEW2:lla), AW01 maadoitettu, AEW4 maadoitettu, työlupa saatu
- Mek-asennusryhmä vaihtaa Q1 erottimen ja Q0 katkaisijan
- Säh-asennusryhmä kytkee erottimia järjestyksessä Q4, Q3, Q1 ja katkaisija Q0

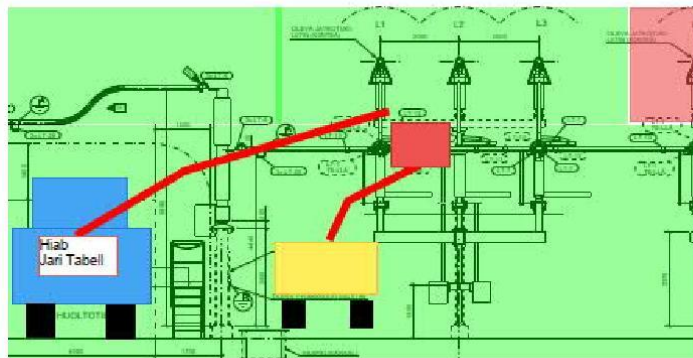
- Kenttätukieristimien vaihto
- Köysien ja putkien asennukset kojeille
- Underhung-tukieristimien vaihto
- Alastulojompkien vaihto
- Ylimenovastusmittaukset
- Koestukset



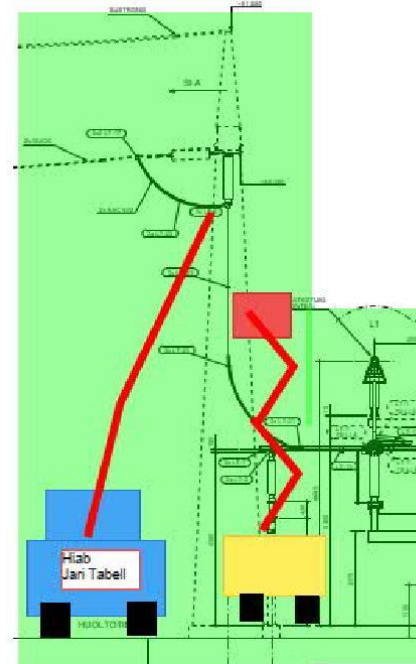
TYÖVAIHE 2

- Q1 EROTTIMEN VAIHTO JA KATKAISIJAN Q0 VAIHTO
- KENTTÄTUKIERISTIMET, KÖYSITYKSET JA PUTKET

Työkonesijainti Q0, Q1 ja AEW1 työt



Työkonesijainti tukieristin ja jompit

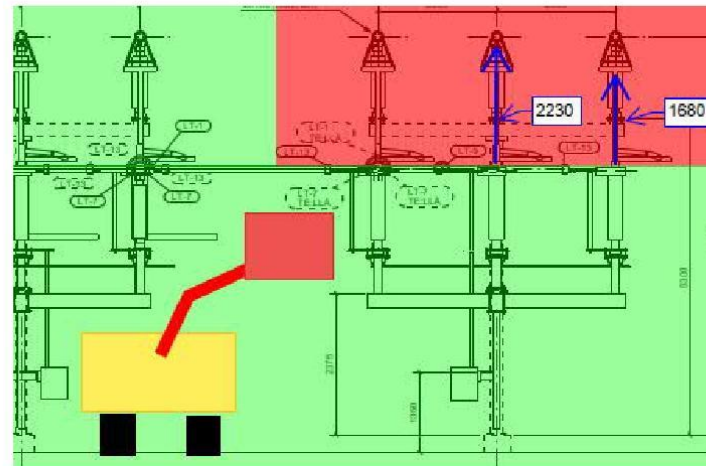


TYÖVAIHE 2

- Q1 EROTTIMEN VAIHTO JA KATKAISIJAN Q0 VAIHTO
- KENTTÄTUKIERISTIMET, KÖYSITYKSET JA PUTKET

Työvaihe 2 Toteutus 17.6 – 1.7.2020

- Putkikiskojen asennuksessa Q1 ja Q2 välillä on oltava erityisen huolellinen, koska etäisyys yläpuolisen jännitteisen kiskon tartuntaerottimen vastanapaan on vain 1660mm
- Pisin putki L2 asennetaan kahdessa osassa ja väliin asennetaan jatko

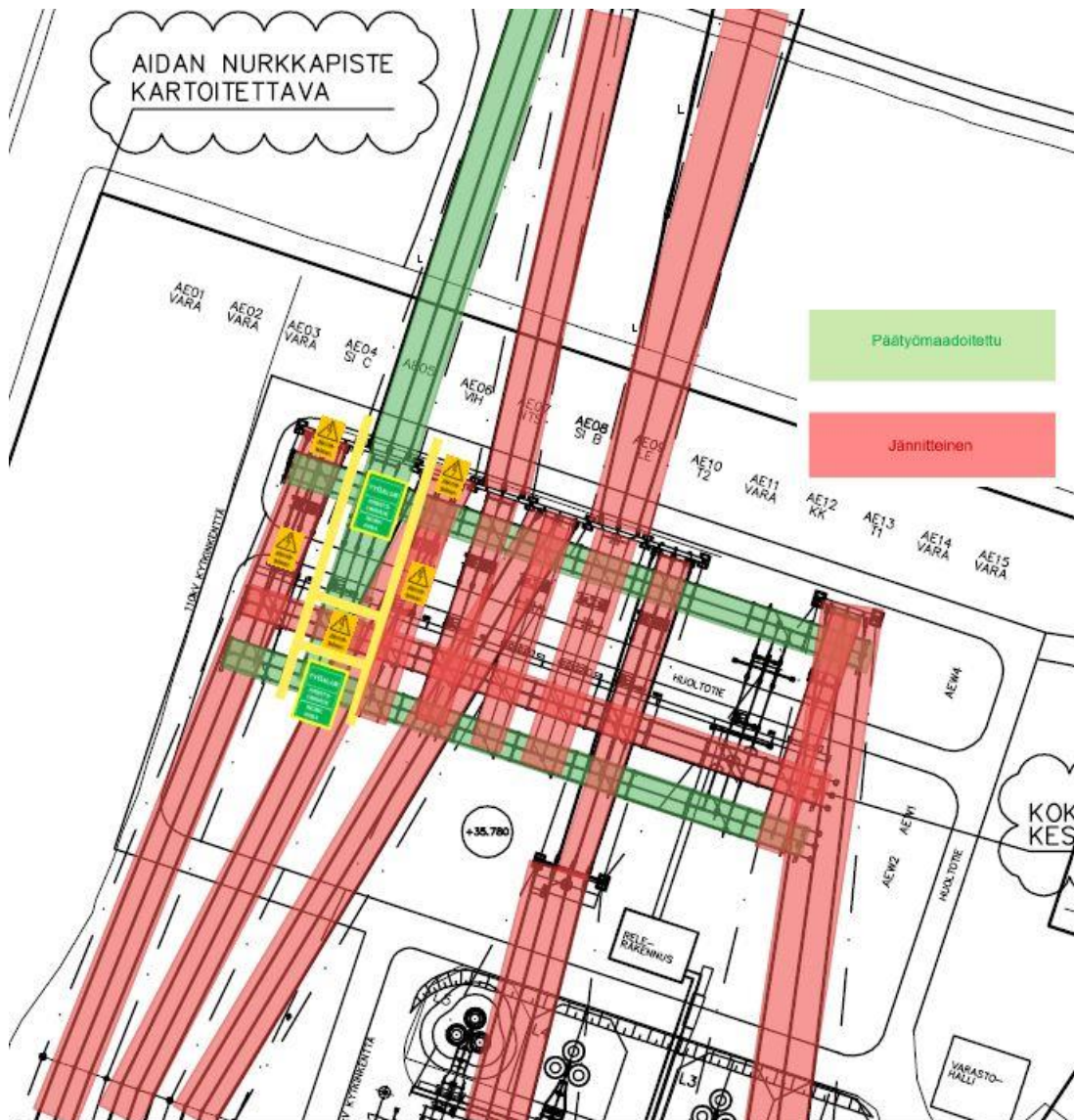


KOESTUS

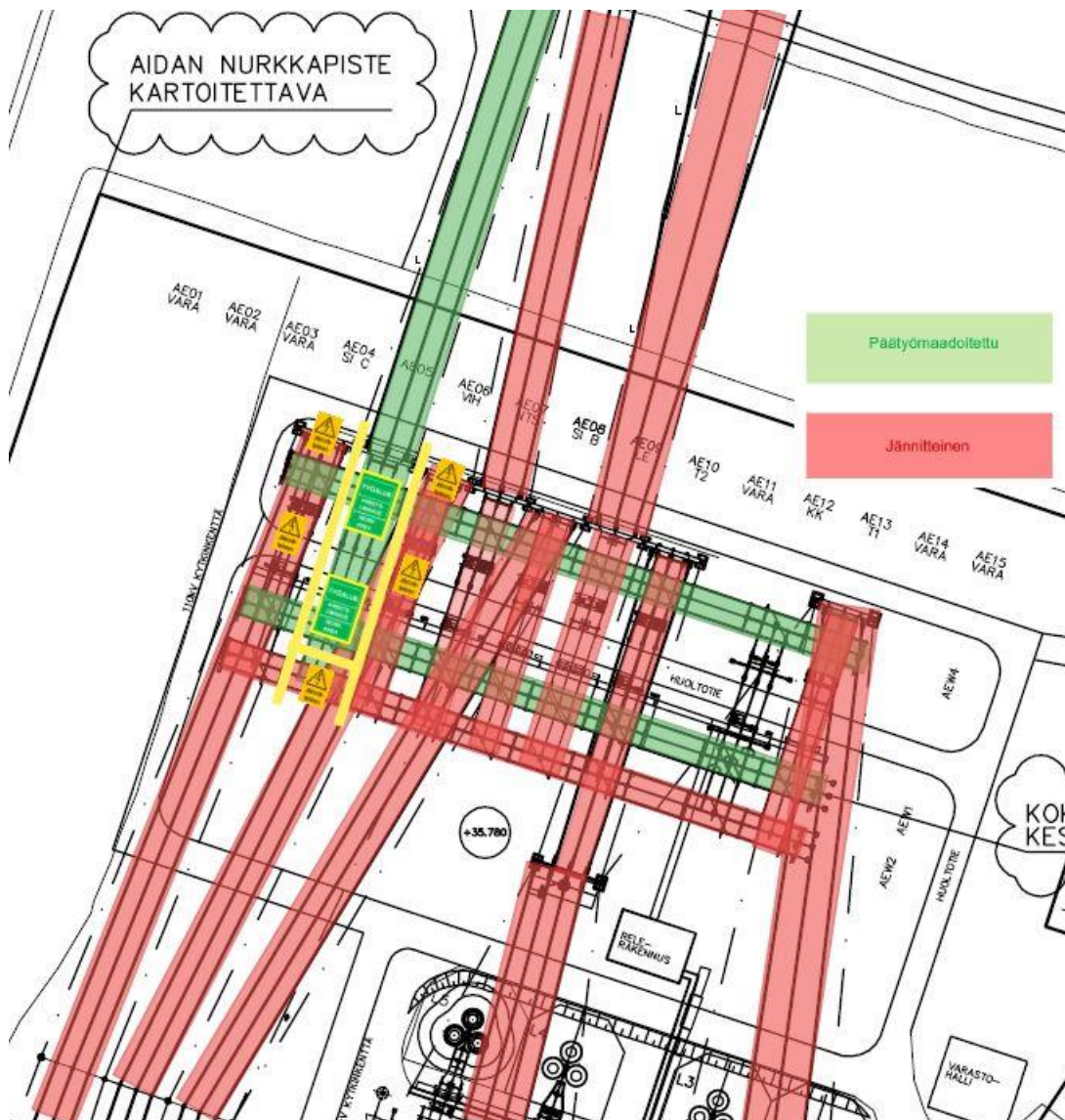
- Asennustarkastus
- Kaapelien mekkaus
- Piirien testaus
- Katkaisijan kellotus
- Erottimien ajot koteloilta moottorilla ja toiminta-aikojen mittaus
- Maadoitusten mittaus
- Lukitusjärjestelmän testaus soveltuvien osien
- Erottimien ajo HMI:llä ja XA:lla kaukokäytöllä



AEW1 jännitteinen



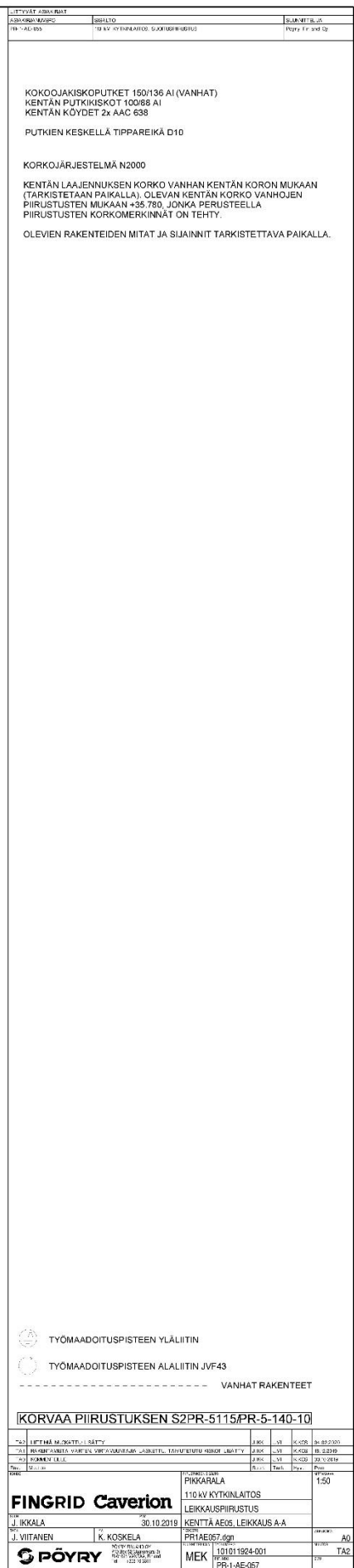
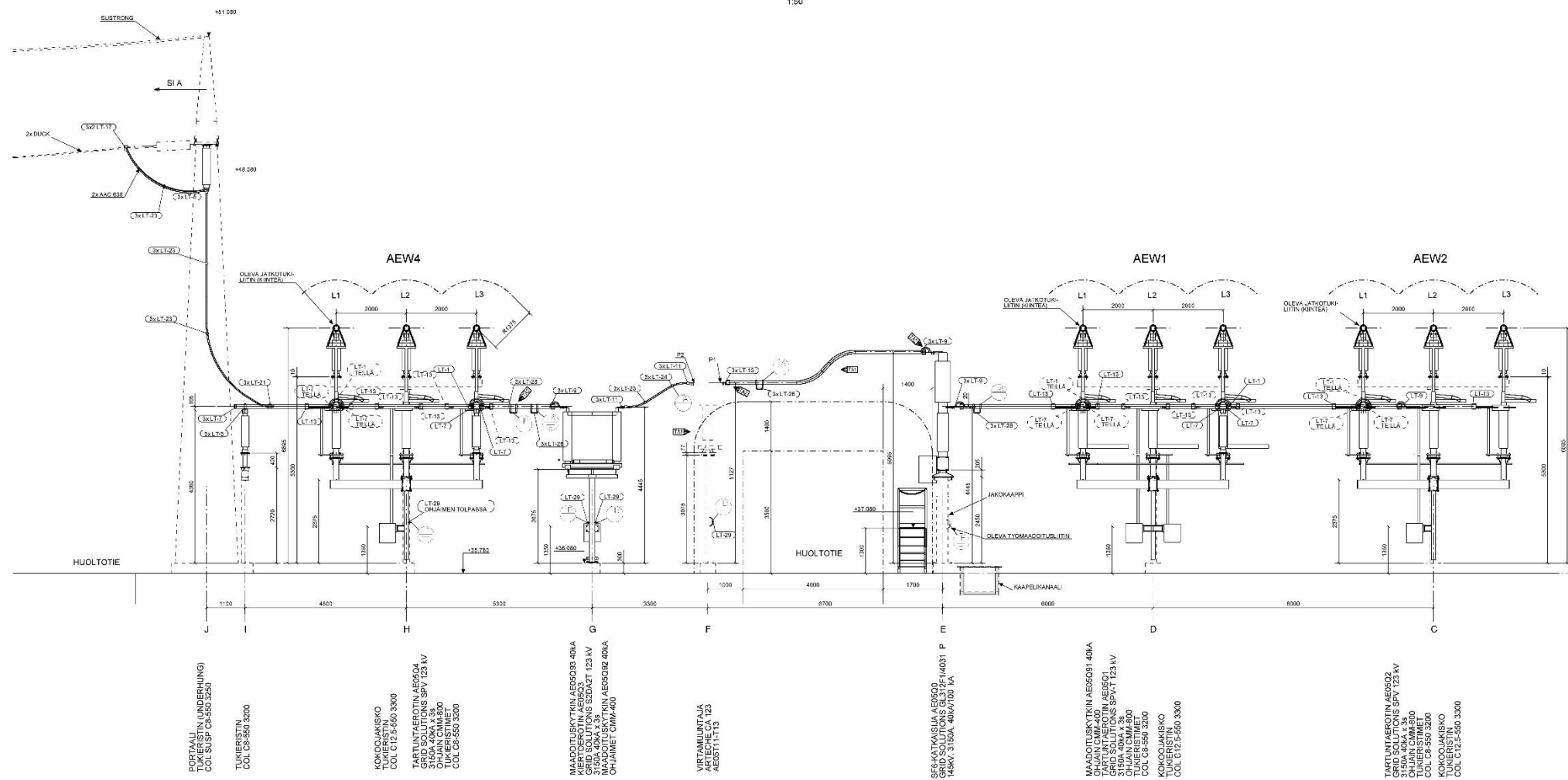
AEW2 jännitteinen

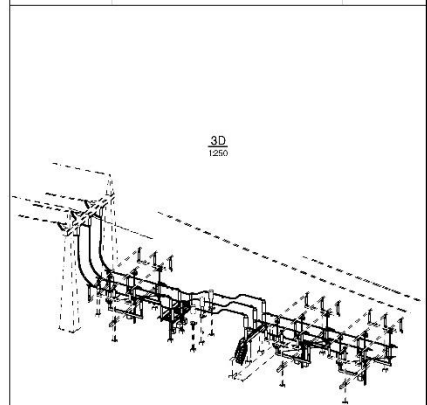


[illegible]

|LIITTIMIEN OIKOSULKUKESTÄVYYS 40 / 100 kA|

LEIKKAUS A-A, KENTTÄ AE05



[illegible][illegible]