

Tuomas Kiviahde

OHJEISTUS METALLIKOTELOIDUN KESKIJÄNNITEKOJEISTON TURVALLISEEN OPEROINTIIN

Opinnäytetyö

Merenkulun ammattikorkeakoulututkinto

Merenkulun koulutus, sähkövoimatekniikka

2024



**Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu**

Tutkintonimike	Insinööri (AMK)
Tekijä	Tuomas Kiviahde
Työn nimi	Ohjeistus metallikoteloidun keskijännitekojeiston turvalliseen ope- rointiin
Toimeksiantaja	Kaakkois-Suomen Ammattikorkeakoulu Oy
Vuosi	2024
Sivut	54 sivua, liitteitä 21 sivua
Työn ohjaaja	Matti Hänninen

TIIVISTELMÄ

Tässä opinnäytetyössä pyrittiin selvittämään, miten modulaarinen ilmaeristeinen metallikoteloitu keskijännitekojeisto valmistellaan opetuskäyttöön soveltuvaksi laitteeksi. Tutkimuksessa perehdyttiin myös, kuinka sähkötyöturvallisuuden tärkeyttä voidaan korostaa kojeistoon liittyvissä harjoituksissa. Tutkimuksen pääasiallinen tarkoitus on toimia oppimateriaalina opiskelijoille, joilla ei ole aiempaa tietoa tai kokemusta tästä aiheesta.

Opinnäytetyö tehtiin Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun Kotkan kampuksen sähkövoimatekniikan laboratorioon hankitun opetuskojeiston vuoksi. Opetuskojeisto on modulaarinen metallikoteloitu keskijännitekojeisto, joka ei vielä saapumisensa jälkeen ollut valmiina opetuskäyttöön. Opetuskojeisto piti sähköistä sopivalla tavalla, jotta tekniikan alan opiskelijat voisivat operoida sitä tulevaisuudessa harjoituksissa.

Opetuskojeistoa pidetään tällä hetkellä sähkölaitteena, mutta se voidaan tulevaisuudessa laajentaa sähkölaitteistoksi. Tutkimuksen teoreettinen pohja rajautuu metallikoteloidun keskijännitekojeiston sekä sähkötyöturvallisuuden perustietoihin. Kojeiston laitteiden toimintaperiaatteet ja teoriaan syventyminen rajattiin suurelta osin työn ulkopuolelle.

Opetuskojeiston toimivuus testattiin ja kojeisto valmisteltiin verkkoon kytkettäväksi. Kojeistolle hankittiin sähköturvallisuuteen liittyviä lisävarusteita ja sille myös suunniteltiin ensimmäiset harjoitukset, jotta opetus saataisiin käyntiin. Myöhemmin harjoituksia toteutettiin onnistuneesti.

Asiasanat: keskijännite, kojeisto, sähköturvallisuus, opetusmateriaali

Degree title	Bachelor of Engineering
Author	Tuomas Kiviahde
Thesis title	Instructions for safe operations of a metal-enclosed medium-voltage switchgear
Commissioned by	South-Eastern Finland University of Applied Sciences Ltd
Time	2024
Pages	54 pages, 21 pages of appendices
Supervisor	Matti Hänninen

ABSTRACT

The objective of this thesis is to customize a modular air insulated metal-enclosed medium-voltage switchgear suitable for an educational environment. The study examines how electrical safety could be emphasized in the switchgear related training. The study mainly aims to serve as material for students without prior knowledge or experience of operating switchgears.

The need for this study emerged from the purchase of Instructional switchgear for the electrical engineering laboratory at Kotka Campus of South-Eastern Finland University of Applied Sciences. The switchgear is of the modular metal-enclosed medium-voltage type which could not be utilized immediately for educational purposes. The electric power supply had to be modified in such a manner that the engineering students could safely operate it as a training apparatus.

The switchgear is treated as an electrical device, but it has potential for prospective development into an electrical system. The theoretical framework of the study focuses on construction and operation of the metal-enclosed switchgear and electrical safety. However, most of the background of the instruments generally related to switchgears were omitted from this study.

The switchgear was thoroughly explored and made ready for accessible power plug-in. Electrical safety related equipment was acquired, and the first training instruction arrangement for the device was designed. Training exercises were successfully conducted afterwards.

Keywords: medium-voltage, switchgear, electrical safety, educational material

SISÄLLYS

TERMIT JA LYHENTEET	6
1 JOHDANTO	10
2 KESKIJÄNNITEKOJEISTOJEN TAUSTAA	10
2.1 Sähkönjakelu	11
2.2 Kojeistot	11
2.2.1 Keskijännitekojeistojen historiaa	11
2.2.2 Keskijännitekojeistojen nykytilanne	12
2.3 Keskijännitekojeiston laitteet	13
2.3.1 Kiskot	14
2.3.2 Katkaisija	14
2.3.3 Mittamuuntajat	15
2.3.4 Suojarele	16
2.3.5 Valokaarisuoja	17
2.3.6 Toisiokojetila ja muut ohjauslaitteet	17
2.3.7 Maadoituskytkin	18
3 TURVALLISUUS	18
3.1 Sähkötyöturvallisuus	18
3.1.1 Jännitteettömänä työskentely	19
3.1.2 Täydellinen erottaminen ja jännitteen kytkemisen estäminen	19
3.1.3 Jännitteettömyyden toteaminen	20
3.1.4 Työmaadoittaminen ja jännitteisiltä osilta suojaaminen	21
3.1.5 Kojeiston maadoituskytkimet ja jännitteenilmaisimet	21
3.1.6 Työvälineet	22
4 OPETUSKOJEISTON VALMISTELU	23
4.1 Opetuskojeiston laitteet	23
4.1.1 Kiskot	24
4.1.2 Tyhjiökatkaisija	24

4.1.3	Mittamuuntajat	26
4.1.4	Suojarele.....	27
4.1.5	Valokaarisuoja	28
4.1.6	Apusähkökeskus eli toisiokojetila.....	29
4.1.7	Maadoituskytkin	30
4.2	Opetuskojeiston IEC 81346-2 mukaiset merkinnät.....	31
4.3	Ongelmat.....	31
4.4	Toteutus.....	32
5	OPETUKSEN VALMISTELU	38
5.1	Suojareleen käyttöönotto PCM600-ohjelmistolla	39
5.2	Kojeiston testaukset.....	41
5.2.1	Katkaisija	41
5.2.2	Katkaisijan lisätutkimukset.....	42
5.2.3	Suojarele.....	44
5.2.4	Valokaarisuoja	45
5.3	Hankitut suojavarusteet	46
5.4	Jännitteettömäksi saattaminen	47
5.5	Kojeisto opetuskäytössä	49
6	YHTEENVETO	49
	LÄHTEET.....	51

LIITTEET

Liite 1. Opetuskojeiston tyyppikilpi

Liite 2. Opetuskojeiston katkaisijan tyyppikilpi

Liite 3. Ote opetuskojeiston piirikaaviosta, valokaarisuojan sekä suojareleen kytkeminen virtamuuntajan toisiopiiriin.

Liite 4. Lisäasennusten piirikaaviot

Liite 5. Opetuskojeistoharjoitus

TERMIT JA LYHENTEET

A	ampeeri
Abiko	sähköliittimien valmistaja
ABB	Asea Brown Boveri
AC	Alternating current, vaihtovirta
AIS	Air insulated switchgear
Apusähkö	ohjaus- ja suojauslaitteiden käyttämä sähkö
Banaaniliitin	sähkölaboratorioissa käytettävä kosketussuojatun johtimen liitin
BASEPH 3	Global phase base values
BASERES 3	Global residual base values
BAT1	UniGear ZS1 -kojeiston jännitemuuntaja
CPI plus/R	KUVAG GmbH & Co KG:n valmistama kojeistoon asennettava jännitteenilmaisin
DC	Direct current, tasavirta
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol
Ethernet	yleisin lähiverkkotekniikka (LAN)
FDB	Function block diagram
GIS	Gas insulated switchgear

HMI	Human Machine Interface
IEC	International Electrotechnical Commission
IED	Intelligent electronic device
IF	Incoming feeder
IP	Internet Protocol
I/O-yksikkö	Input-output-unit
Keskijännite	yli kilovoltin ja alle 110 kilovoltin jännite
kV	kilovoltti
Käyttöjännite	sähköverkon tai muun jännitelähteen antama jännite
Käyttövirta	sähkölaitteessa tai -laitteistossa kulkeva virta
LAN	Local area network
LED	Light-emitting diode
MAS	Motor Actuated Spring, Motor operator
MBC	Shunt closing release
MBO	Shunt opening release
Nimellisjännite	sähkölaitteelle suunniteltu suurin käyttöjännite
Nimellisvirta	sähkölaitteelle suunniteltu suurin käyttövirta

Nollapiste	tähtipiste, vaihejohtimien yhtymäkohta kolmivaihejärjestelmässä
PCM600	ABB:n kehittämä ohjelmisto Relion® -suojareleiden tarpeisiin
PHPTUV	Three-phase undervoltage protection
Pienjännite	yli pienoisjännitteen ja alle kilovoltin vaihtojännite tai alle 1500 voltin tasajännite
Pienoisjännite	korkeintaan 50 voltin vaihtojännite tai 120 voltin tasajännite
Relion®	ABB:n suojarele-tuoteperhe
REF 630	Relion® -tuoteperheen suojarelemalli
REA101	ABB:n valokaarisuojarele, REA100 -valokaarirelejärjestelmän keskusyksikkö
RES UV TRIP	Residual under voltage trip
RLE1	Locking magnet, katkaisijan sulkeutumisen estämiseen
RLE2	Locking magnet, katkaisijan liikuttamisen sallimiseen
ROVPTOV	Residual overvoltage protection
SF ₆	rikkiheksafluoridi
SFS	Suomen standardit
Suurjännite	yli kilovoltin jännite

TJC 4	ABB:n jännitemuuntajamallisto
TPU 4x.xx	ABB:n virtamuuntajamallisto
TTT	Teknisiä tietoja ja taulukoita
Trippaus	suojalaitteen antama kytkinlaitteen laukaisukäsky
UniGear ZS1	ABB:n valmistama ilmaeristetty metallikoteloitu keski-jännitekojeisto
Uupdate Manager	PCM600:n hallintasovellus
V	voltti
VAC	volttia vaihtosähköä
VD4	ABB:n valmistama tyhjiökatkaisija
VDC	volttia tasasähköä
Voimavirta	kolmivaiheverkossa kulkeva sähkövirta
XAMK	Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu
Ylivirta	nimellisvirtaa suurempi virta

1 JOHDANTO

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun merenkulun koulutuksen kehittämiseksi Kotkan kampuksen sähkövoimatekniikan laboratorioon oli hankittu opetuskojeisto. Logistiikan ja merenkulun koulutusyksikkö tarjosi projektia, jonka tarkoitus oli saattaa tämä laite käyttövalmiiksi opetustarkoituksiin. Laite oli tilattu ja suunniteltu opetuskäyttöön alusta alkaen, mutta saapuessaan kampukselle, sitä ei ollut vielä kytketty sähköihin, eikä näin ollen voitu ope-roida.

Tässä opinnäytetyössä kerrotaan, kuinka opetuskojeisto valmisteltiin opetus- käyttöä varten. Työssä painotetaan sähkötyöturvallisuuden tärkeyttä. Työssä tuodaan myös esiin sähköturvallisuuden kannalta tärkeitä työ- ja suojavälineitä sekä työtapoja.

Tutkimuksen kannalta oleelliset kysymykset ovat: "Miten modulaarinen ilma-risteinainen metallikoteloitu keskijännitekojeisto saatetaan opetuskäyttöön so-veltuvaksi laitteeksi?" ja "Miten sähkötyöturvallisuuden tärkeyttä voidaan ko-rostaa kojeistoon liittyvissä harjoituksissa?"

Aiheen laajuuden vuoksi tässä tutkimuksessa ei juurikaan syvennyttä keskijän- nitekojeistoihin kokonaisuutena, sähkölaitteistoina, saati yksittäisinä kojeina. Laitteiden toimintaperiaatteet ja teoreettiset laskut eivät myöskään ole tämän tutkimuksen aiheita. Sen sijaan tarkoitus on koota yhteen perusteet aiheesta ja esitellä tietoa opetuskojeiston turvallisesta käytöstä sekä luoda mahdolli- suudet opetuksen ja opetuskojeiston kehittämiseen.

2 KESKIJÄNNITEKOJEISTOJEN TAUSTAA

Opetuskojeisto on metallikoteloitu keskijännitekojeisto ja tässä luvussa kerro- taan taustatietoa keskijännitekojeistoista. Itse opetuskojeistosta raportoidaan lisää luvuissa neljä ja viisi. Aiheeseen liittyy todella paljon teoriaa ja tietoa, joka on suurelta osin rajattu tutkimuksen ulkopuolelle. Tähän lukuun kootut asiat ovat tarkoitettu taustatiedoksi opetuskojeistolla toteutettaviin harjoituk- siin.

2.1 Sähkönjakelu

Voimalaitoksissa generaattoreilla tuotettu sähkö kulkee ympäri maata voimalinjoja ja -kaapeleita pitkin eli sähköverkossa, jossa vaihtosähkön jännitettä muutetaan muuntajilla. Sähköverkko jaetaan karkeasti suurjännitteiseen kaukovoimansiirtoon (400, 220 tai 110 kV) eli kantaverkkoon sekä jakeluverkkoon, johon kuuluvat suurjännite- (110 kV) ja keskijännite- (10 tai 20 kV) sekä pienjännitejakeluverkot (0,4 kV). (Elovaara & Haarla 2011a.)

Muuntajien ja johtimien lisäksi sähköpiireissä käytetään tyypillisesti kytkimiä, joilla ohjataan sähkön kulkua. Sähkönjakelun yhteydessä kytkiminä käytetään erilaisia katkaisijakojeistoja. Keskijännitejakelussa puhutaan keskijännite(katkaisija)kojeistoista. (Elovaara & Haarla 2011b, 161.)

2.2 Kojeistot

Kojeistot ovat sähkölaitteistoihin, eli sähkökaapeliverkkoihin ja kiskojärjestelmiin asennettujen kytkinmekanismien, suojauksien ja suojalaitteiden sekä ohjaus- ja valvontajärjestelmien muodostamia kokonaisuuksia. Pienimmät kojeistot ovat esimerkiksi yksittäisiä jakokeskuksia. Pienjännitteiset jakokeskukset voivat kuitenkin viedä paljonkin tilaa esimerkiksi teollisuuslaitoksissa. Keskijännitekojeistoja rakennetaan sekä ulko- että sisätiloihin ja ne kosketussuojataan koteloinnilla. Suurimmat kojeistot sijoitetaan kytkinkentille ja ne luokitellaan avorakenteisiksi ulkokojeistoiksi. (Elovaara & Haarla 2011b, 117–140.)

Sähkönjakelussa kojeistot jaetaan suurjännite-, keskijännite- ja pienjännitekojeistoihin. Suurjännitekojeistoja rakennetaan yleensä kantaverkon kytkin- ja muuntoasemille sekä jakeluverkon syöttöasemille, mutta niitä on sijoitettu myös sisätiloihin. Sisätiloissa olevia kojeistoja kutsutaan usein kytkinlaitoksiksi. Kojeistot voidaan jakaa karkeasti ilmaeristeisiin (AIS) ja kaasueristeisiin (GIS) kojeistoihin. (Mt.)

2.2.1 Keskijännitekojeistojen historiaa

Keskijännitteisiä kennokeskuksia rakennettiin Suomessa jo 1900-luvun alkupuolella ja ne olivat usein avorakenteisia sisäkojeistoja. Joissakin kohteissa oli

järkevämpää käyttää koteloituja ulko- tai sisäkojeistoja, jotka olivat tehdasvalmisteisia eli valmiiksi suunniteltuja ja rakennettuja kokonaisuuksia. Kojeistojen ohella tapahtunut katkaisijoiden kehitys johti kuitenkin koteloitujen kojeistojen suosioon. Lopulta avorakenteisia keskijännitekeskuksia ei enää kannattanut rakentaa. Tämä kaikki tapahtui jo 1980-luvulle mennessä. (Elovaara & Laiho 1988, 313–319.)

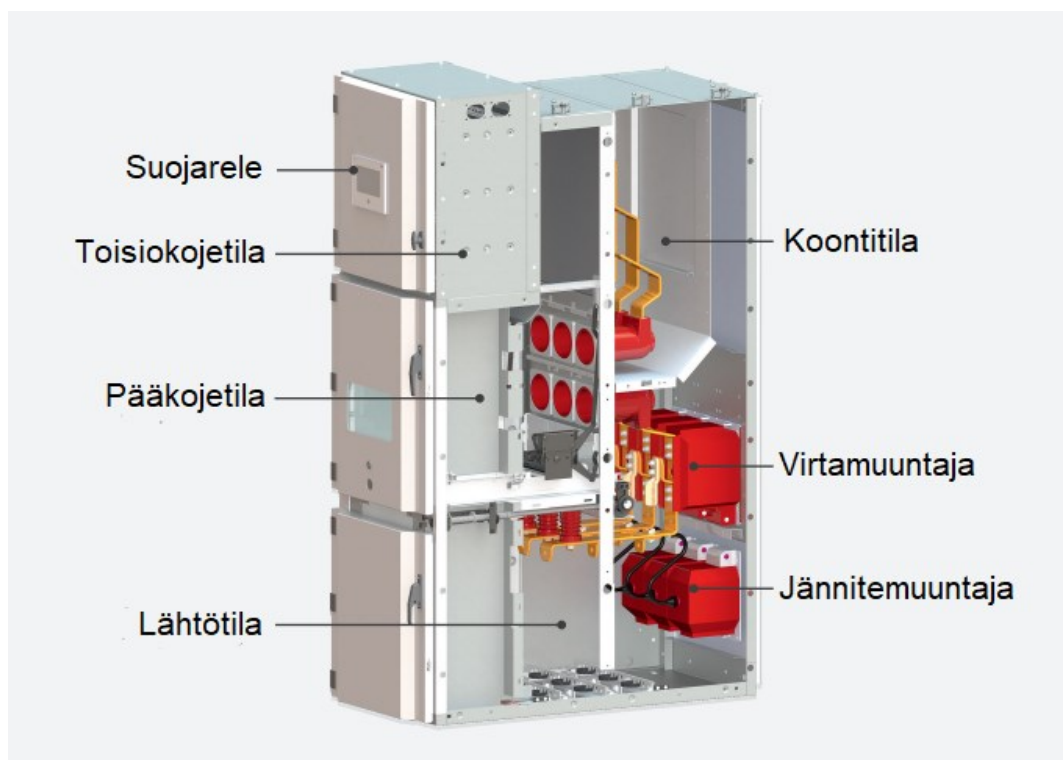
2.2.2 Keskijännitekojeistojen nykytilanne

SFS 6001 -standardin mukaan kaikki yli kilovoltin jännitteet ovat suurjännitettä. Keskijännitettä käytetään terminä lähinnä jakeluverkkojen yhteydessä, kun taas esimerkiksi merenkulussa termiä ei käytetä lainkaan. Suomessa keskijännitteellä tarkoitetaan yleensä noin 10 kV:n tai 20 kV:n jännitettä, mutta kokonaisuudessaan raja-asettuu yli 1 kV:n ja alle 110 kV:n väliin. (SFS 6001: 2018.)

On tärkeää ymmärtää, että tehdasvalmisteiset keskijännitekojeistot rakennetaan yleensä modulaarisiksi eli valmiiksi koteloituiksi kennoiksi. Niitä yhdistelemällä varsinaiset keskijännitekojeistot rakennetaan kytkinlaitoksiin tai vastaaviin tiloihin.

Nykyään suositaan tehdasvalmistettuja koteloituja kojeistoja, joiden rakentamisen pohjalla käytetään erityisesti IEC 60298-, 60466- ja 60694-standardeja. Koteloidut kojeistot voidaan jakaa vielä eritysmateriaalien ja kotelointitapojen eli kennosovitteiden mukaan. Koteloidun kojeiston katolla on paineenpurkausluukut ja kojeiston rakenteilla pyritään suojaamaan valokaaren syttyminen. Selvästi suosituin kojeistorakenne on metallikoteloitu kojeisto, joka on yksi metallikuoristen kojeistojen tyypeistä. (Elovaara & Haarla 2011b, 120, 125.)

Näiden metallikoteloitujen kojeistojen valmistamiseen on olemassa myös IEC-standardi 62271–200, joka osaltaan pohjautuu yllä mainittuihin IEC-standardeihin (IEC 62271-200: 2021). Tätä standardia käytettiin myös opetuskojeiston valmistuksessa.



Kuva 1. Metallikoteloitukojeiston mallikuva. (mukaillen UniGear ZS1... 2021)

Standardien vaikutus nähdään erityisesti kojeistojen tyyppikilvissä. Kojeiston valmistuksessa huomioidaan käyttöolosuhteet eli käyttölämpötila ja ilman kosteus. Kojeistot varustetaan ja rakennetaan kestäväksi tietyt kuormitus- ja oikosulkuvirrat. Näiden perusteella kojeistoille määritellään nimellisarvot, jotka merkitään tyyppikilpeen. Opetuskojeiston tyyppikilpi on nähtävissä liitteessä 1.

Tyyppikilven arvot selvitetään koetuksilla, johon kuuluu tyyppi- ja kappalekoikeita. Näillä varmistetaan, että kojeisto on riittävän kestävä rakenteeltaan ja materiaaleiltaan. (TTT-käsikirja 2000–07, luku 13: Sähköasemat... 2003.)

2.3 Keskijännitekojeiston laitteet

Keskijännitekojeiston laitteet, eli kytkin-, suojaus-, valvonta- ja ohjauslaitteet, ovat kooltaan yleensä hieman kookkaampia kuin pienjännitekojeistojen laitteet, mutta pienempiä kuin suurjännitekojeistojen laitteet. Erityisesti katkaisijoiden ja mittamuuntajien välillä on kokoeroja. (Elovaara & Haarla 2011b, luku 3.)

Kojeistoissa oleville kytkinlaitteille on suunniteltu mekaanisia ja sähköisiä lukituksia. Kytkinlaitteilla tarkoitetaan mm. katkaisijoita, kytkimiä ja erottimia sekä

varokkeita. Kytkinlaitteisiin liittyvät lukitukset ovat oleellinen osa kojeistojen toimintaa ja niiden tunteminen on tärkeää kojeistojen operoinnissa. Lukituksilla varmistetaan kytkinlaitteiden kytkeminen turvallisesti. (SFS 6001: 2018.)

2.3.1 Kiskot

Keskijännitekojeistoissa on tyypillisesti kokoojakiskot kolmelle vaiheelle, joihin voidaan liittää johtimia ja laitteita. Kiskomateriaali on yleensä kuparia tai alumiinia. Kiskot mitoitetaan ja valmistetaan kestämään kuormituksen, oikosulkuvirtojen ja kytkentöjen aiheuttamat rasitukset. Kiskot voivat olla kahdennettuja. (Elovaara & Haarla 2011b, 80–96.) Keskijännitekojeistoilla kiskojen välinen etäisyys toisistaan on melko pieni verrattuna suurjännitekojeistoihin, mutta johtimien eristysratkaisuilla välejä voidaan pienentää entisestään (Elovaara & Laiho 1988, luku 8).

2.3.2 Katkaisija

Katkasijakojeiston pääkoje on katkaisija. Sähkönjakelussa se luokitellaan yhdeksi kytkinlaitteista. Katkaisijalla voidaan avata ja sulkea jännitteinen virtapiiri. Se voidaan tehdä automaattisesti tai manuaalisesti. Toisin kuin tavallinen kytkin katkaisija on mitoitettu ja varustettu toimimaan myös ylivirta ja oikosulutilanteissa. (Elovaara & Haarla 2011b, 161, 162, 163.)

Koteloiduissa kojeistoissa käytettyjen katkaisijoiden tulee olla huollettavia, joten yleensä katkasijat ovat ulosvedettäviä. Ulosvedettävän katkaisijan omaavat kojeistot voidaan jakaa vaunu(katkaisija)kojeistoon ja kasetti(katkaisija)kojeistoon. Vaunukatkaisijoita eli pyörillä varustettu katkaisija, joka sijoitetaan koteloidun kojeiston alaosaan, kehitettiin jo 50 vuotta sitten. (Elovaara & Laiho 1988, 316–317.)

Myöhemmin markkinoille saapui niin sanottuja kasettikatkaisijoita, joita ei nykyään sanota kasettikatkaisijoiksi vaan ulosvedettäviksi katkaisijoiksi. Metallikoteloidussa kojeistossa ulosvedettävä katkaisija sijoitetaan kojeiston keskiosaan omaan tilaansa, jossa on tyypillisesti erillinen kaasunpurkausaukko. Tätä tilaa kutsutaan pääkojetilaksi. Kts. Kuva 1. Metallikoteloitukojeiston mallikuva. (mukaillen UniGear ZS1... 2021) Ulosvedettävien katkaisijoiden suosio

on kasvanut, vaikka perinteisiä vaunukatkaisijoitakin valmistetaan edelleen. (Elovaara & Haarla 2011b, 124, 125.)

Näillä katkaisijoilla on tärkeä mekaaninen ominaisuus eli piirin erottaminen verkosta. Nykyaikaiset keskijännite- ja myös pienjännitekatkaisijat ovat siis erottavia katkaisijoita. Nykyään jotkin suurjännitekatkaisijatkin ovat erottavia katkaisijoita. (Mts. 184, 185.)

Keskijännitekojeistojen katkaisijat jaetaan eristysaineen mukaan. Ennen käytettiin vähäöljy- ja paineilmakatkaisijoita ja nykyään SF₆- ja tyhjiökatkaisijoita. Tosin edellä mainittuja käytetään vielä jonkun verran. On huomioitavaa, että katkaisijan erityystapa ei välttämättä tarkoita koko kojeiston eristystapaa eli AIS tai GIS. (Mts. 168–185.)

2.3.3 Mittamuuntajat

Nimensä mukaisesti mittamuuntajat ovat muuntajia, joita voidaan mallintaa ja mitoittaa kuten muitakin muuntajia. Ne ovat kuitenkin erikoismuuntajia, joilla on tiettyjä erikoisominaisuuksia. Mittamuuntajien mitoitukseen ja toleransseihin sekä muihin ominaisuuksiin on olemassa IEC-standardit. Ennen käytettiin IEC-60044-perheen standardeja ja nykyään IEC-61861-perheen standardeja (IEC-61869-3: 2011).

Mittamuuntajat jaetaan virta- ja jännitemuuntajiin. Niiden tarkoitus on antaa jatkuvaa, kojeiston automaatiojärjestelmän kannalta analogista, virta- tai jännitetietoa kojeiston suojaus- ja valvontalaitteille eli lähinnä suojareleelle.

Keskijännitekojeistoissa virtamuuntaja mittaa esimerkiksi kokoojakiskon vaihevirtaa tai syöttökaapelin maasulkuvirtaa. Viimeksi mainittua kutsutaan kaapeli-virtamuuntajaksi, jonka ensiöpuoli asennetaan renkaaksi haarautuvan syöttökaapelin ympärille. Vaiheisiin asennettavat virtamuuntajat ovat tyypillisesti valuhartsisia möhkäleitä.

Jännitemuuntaja mittaa vaihe- ja pääjännitettä sekä nollapisteenjännitettä. Jännitemuuntajat voidaan valmistaa mittaamaan jännitettä induktiivisesti tai

kapasitiivisesti, mutta kapasitiivisia jännitemuuntajia käytetään lähinnä suurjännitekojeistoissa (400 kV). Keski-jännitekojeistoissa jännitemuuntajat ovat yleensä valuhartsisia ja joka vaiheella on oma jännitemuuntajansa. (Elovaara & Haarla 2011b, 198–223.)

Virtamuuntajien käämitys on varsin erikoinen muihin muuntajiin verrattuna. Virtamuuntajaa ei tule kytkeä jännitteisenä eikä sen toisiopiiriä saa avata jännitteisenä. Tämä tarkoittaa sitä, että toisiopiiriin ei saa kytkeä varokkeita ja käyttämättömät piirit tulee oikosulkea. Useita virtamuuntajia sisältävä piiri pitää kytkeä myös maihin yhdestä pisteestä. (Mts. 214, 215.) Virtamuuntajien esimerkkikytkentä on liitteessä 3.

Johtimien lasketun nimellisvirran mukaan mitoitettun virtamuuntajan ensiöpuolen nimellisarvo on usein kojeiston nimellisvirta. Jännitemuuntajan mitoitettu ensiöpuolen jännite on niin ikään kojeiston nimellisjännite tai käyttöjännite. (TTT-käsikirja 2000–07, luku 7: Oikosulkusuojaus 2003.)

2.3.4 Suojarele

Sähköjaketelussa esiintyy toisinaan häiriöitä ja vikoja. Ne liittyvät oiko- ja maasulkuihin, kuormitusvirtaan, jännitteen temppuiluun sekä verkon taajuuden liiallisiin muutoksiin. Kaikkia mahdollisia vikoja vastaan on kehitetty suojareleitä. Sähköjaketelussa kaikki verkon osat suojataan. (Elovaara & Haarla 2011b, 339–342.)

Tyypillinen suojarele on paksun kirjan kokoluokkaa ja sen etupaneelissa on jonkinlainen indikointi ja säätömahdollisuus, esimerkiksi HMI-näyttö ja painikkeet. Suojareleet tyypillisesti liitetään osaksi sähköaseman paikallisautomaatiojärjestelmää. Niiden pääasiallinen tarkoitus on toimia hiljaa taustalla vuosien ajan, mutta reagoida viipymättä vian syntyessä.

Suojareleiden kehitys alkoi yli 100 vuotta sitten. Pitkän aikaan yksittäinen suojarele valmistettiin vain yhtä tiettyä vikaa, kuten 1-vaiheista maasulkua, vastaan. Toimiakseen kojeisto vaatii useita suojareleitä, jotka yleensä asennettiin omaan tilaansa. Näin oli mekaanisten, elektronisten ja varhaisten digitaalisten suojareleiden kanssa viime vuosisadalla. (Lundqvist s.a.)

1990-luvulle tultaessa markkinoille oli kehitetty ohjelmoitavia suojarahleitä, lyhyesti IED. Ne erosivat aiemmista laitteista niin, että yhteen IED-suojareleeseen pystyttiin ohjelmoimaan kaikki tai ainakin suurin osa kunkin kojeistomodulin tarpeista. Nykyisten IED-laitteiden kehitys jatkuu edelleen. (Mt.)

Myös IED-suojareleet voidaan liittää osaksi sähköaseman paikallisautomaatiojärjestelmää ja IED-tekniikka on ollut osaltaan mukana kehittämässä koko automaatiota (Elovaara & Haarla 2011b, 388–391).

2.3.5 Valokaarisuoja

Koteloiduissa kojeistoissa syttyvä valokaari ovat vaarallisin vika, mitä niissä voi tapahtua. Pitäisi oikeastaan puhua onnettomuudesta. Valokaari sulattaa ja höyrystää sekä polttaa kaiken materiaalin ympäriltään, mikä voi tapahtua räjähdysmäisesti. (Blåfield s.a.)

Valokaarien sammuttamiseen on kehitetty valokaarisuojarele eli valokaarisuoja. Sen toiminta perustuu yleensä valokaaren havaitsevaan anturiin. (TTT-käsikirja 2000–07. Luku 10: Mittaus... 2003.) Releen tarkoitus on toimia muita suojarahleitä ja suojaustoimintoja nopeammin valokaaren syttyessä. Valokaari saa aikaan tuhoa todella nopeasti ja se on pysäytettävä niin pian kuin mahdollista. Normaalit oikosulkuvirtareleet eivät selektiivisyydellään siihen välttämättä kykene. (Huotari & Partanen 1998.)

2.3.6 Toisiokojetila ja muut ohjauslaitteet

Koteloidulle kojeistolle tyypillistä on sen yläosasta löytyvä toisiokojetila. Johon kojeiston ohjaus ja suojauslaitteet suurelta osin kytketään. Kojetilaa ei määritellä viralliseksi mittalaitteistoksi, vaikka se sisältää kojeiston ohjaus- ja mittauslaitteita. (Jaakkola 2010.)

Toisiokojetilassa käytetään pienjännitettä ja mahdollisesti pienoisjännitettä ja sitä voidaan kutsua myös apusähkökeskukseksi. Apusähköt tuodaan kojeistoon erikseen. Tyypillisesti apusähköt tuotetaan akustolla, sillä toisiokojetilan laitteet eivät useinkaan käytä normaalia pienjännitteistä vaihtosähköä.

(UniGear ZS1... 2021.) Sähkönjakelun kannalta on myös tärkeää turvata jatkuva sähkönsyöttö, johon voidaan käyttää mm. UPS-järjestelmiä (Elovaara & Haarla 2011b, 27).

2.3.7 Maadoituskytkin

Kiinteä maadoituskytkin on tärkeä lisävaruste koteloituissa keskijännitekojeistoissa. Valokaarivaaran vuoksi SFS-standardi 6001 vaatii työmaadoitusten yhteydessä maadoituskytkimen käyttöä yli 1 kV:n kojeistoissa. (SFS 6001: 2018.)

Maadoituskytkimet valmistetaan kestämään oikosulkuvirtoja, sillä kytkin yhdistää katkaisijalle menevät vaihekiskot toisiinsa. Samalla nämä johtavat osat yhdistyvät kojeiston maadoitukseen ja toisaalta myös kaikkiin kojeiston johtaviin pintoihin. Metallikoteloitujen koteloiden yhteydessä tämä tarkoittaa käytännössä koko kojeistoa. Kojeston lukitukset kuitenkin estävät maadoituskytkimen käytön, kun kojeisto on jännitteinen. (IEC indoor earthing switch OJWN s.a.)

3 TURVALLISUUS

Turvallisuus on tärkein, kun tehdään sähkötöitä. Tässä luvussa nostetaan esiin tämän tutkimuksen näkökulmasta tärkeitä asioita sähkötyöturvallisuuteen liittyen. Suuri osa oleellisesta tiedosta löytyy SFS-standardeista 6002 ja 6001.

Sähkötöitä tehdessä on erityisesti noudatettava sähköturvallisuuslakia (1135/2016) ja työturvallisuuslakia (738/2002) sekä asetusta sähkö- ja käyttötyöstä (1435/2016). Sähkötöidenjohtaja huolehtii, että lakeja noudatetaan. Sähköalan oppilaitoksissa ja sähkölaitteiden valmistukseen liittyvissä testauksissa ei tarvita varsinaista sähkötöiden johtajaa, mutta laitteiston haltijan tulee nimetä sähköturvallisuuden valvoja töiden ajaksi. (SFS 6002: 2018.)

3.1 Sähkötyöturvallisuus

Jo ennen sähkötöiden aloittamista on ymmärrettävä, millaisen sähkölaitteen tai -laitteiston kanssa ollaan tekemisissä. Sähköiset vaarat on tiedostettava.

Kuormitetuista kojeistoista on hyvä ymmärtää, kuinka suuria energiamääriä niiden kautta kulkee.

Kukaan ei työskentele suurjännitelaitteistojen kanssa yksin. Laitteistojen kytkemiseen laaditaan usein ohjeistuksia, joita kutsutaan kytkentäohjelmiksi. Suomessa keskijännitekojeistoja ei kytketä mm. ilman kirjallista kytkentäohjelmaa ja kytkennänjohtajan lupaa. Häiriötilanteiden ja hätäkytkentöjen yhteydessä sekä yksittäisen laitteen kytkennässä ei kuitenkaan tarvitse tehdä näin kattavia toimenpiteitä.

Keskijännitekojeistoja koskevat sähkötyöt ovat poikkeuksetta opastettujen ammattihenkilöiden töitä, mukaan lukien laitteistojen erottamiset ja kytkennät. (SFS 6002: 2018.)

3.1.1 Jännitteettömänä työskentely

Sähkötyöt pyritään tekemään aina jännitteettömänä. Suurjännitteellisen alueen tekeminen jännitteettömäksi turvallisesti vaatii kaikkien oleellisten toimenpiteiden noudattamista. Suurin osa näistä toimenpiteistä voidaan toteuttaa katkaisijakojeiston yhteydessä. Jännitteettömäksi saattaminen vaatii valtuutuksen laitteistonkäyttöä valvovalta henkilöltä. Työn suorittajien on oltava ammattitaitoisia, opastettuja henkilöitä tai ammattihenkilön valvonnassa. (SFS 6002: 2018.)

3.1.2 Täydellinen erottaminen ja jännitteen kytkemisen estäminen

Työkohde tulee erottaa joka suunnasta avaamalla kojeistojen katkaisijat. Jos katkaisija toimii myös erottimena, se tuodaan erotusasentoon. Jännitteen uudelleenkytkeminen estetään erillisillä lukoilla, jotta katkaisijaa ei voida sulkea. Kojestot myös merkitään kilvillä, joissa kytkimen asennon muuttaminen kielletään. (SFS 6002: 2018.)



Kuva 2. Opetuskojeistoon asetettuja turvalukkoja, kytkentäkieltokilpi puuttuu.

3.1.3 Jännitteettömyyden toteaminen

Seuraavaksi todetaan laitteiston jännitteettömyys. Pienjännitteisissä laitteistoissa siihen käytetään tyypillisesti yleismittaria ja suurjännitteisessä jännitteenkoettimia. Jännitteenkoettimien tulee täyttää ainakin SFS-EN-standardiperheen 61243 vaatimukset. Jännitteettömyys on todennettava jokaisesta johdimesta ja lähteestä. Jännitteenkoettimet on valmistettu tietylle jännitetasolle. (SFS 6002: 2018.) Esimerkiksi 10 kV:n koetin ei välttämättä huomaa alle 5 kV:n jännitettä (Comet BS-I... s.a.).

3.1.4 Työmaadoittaminen ja jännitteisiltä osilta suojaaminen

Jännitteettömyyden toteamisen jälkeen suoritetaan työmaadoitus. Työkohteen mukaisesti käytetään siirrettäviä työmaadoituksia. Ne ovat kohteeseen sopivaksi mitoitettuja johtimia, joilla yhdistetään johtavat osat, kuten vaihekiskot, maadoituspisteeseen sopivilla liittimillä. Liittimet tulee kiinnittää aina luotettavasti paikoilleen. Niille löytyy vaatimuksia ainakin SFS-EN-standardeista 61219 ja 61230.

Työmaadoitus on lisävarmistus, jos esimerkiksi työkohteen johtimien päälle tiipahtaisi jännitteellisiä johtimia jostakin toisesta paikasta työn aikana. Työmaadoitus varmistaa, että sähkö kulkee maahan turvallista reittiä. Työalueen lähellä olevat jännitteellisiltä johtimilta tai muilta osilta pitää silti suojautua eri toimenpitein, jos sellaisia työalueelta löytyy.

Jännitteettömäksi saatetun työalueen työryhmillä on oltava omat sähköturvallisuuden valvojat, joista vastaa koko työaluetta valvova henkilö. Töiden valmistuttua suoritetaan tarkastukset ja siivoukset ja varmistutaan siitä, että takaisin kytkennät voidaan suorittaa turvallisesti mm. poistamalla työalueelta ylimääräiset henkilöt. Jännitteen takaisinkytkentäprosessi toteutetaan suunnilleen päinvastaisessa järjestyksessä kuin jännitteettömäksi saattaminen. (SFS 6002: 2018.)

3.1.5 Kojeiston maadoituskytkimet ja jännitteenilmaisimet

Keskijännitekojeistoissa yleensä vaaditaan kiinteän maadoituskytkimen käyttöä. Kojeistoissa voi olla lisälaitteena kiinteitä jännitteenilmaisimia. Tällaiset laitteet ovat normaalioloissa riittäviä todentamaan jännitteettömyys, kun käytetään maadoituskytkintä. Maadoituskytkin korvaa siirrettävän työmaadoituksen käytön, tosin mikään ei estä tuplavarmistuksien tekemistä.

Usein nämä maadoituskytkimet ovat etäohjattuja. Maadoituskytkintä voidaan käyttää etänä tai paikan päällä, mutta kytkimen toimivuus on kuitenkin varmistettava. Maadoituskytkimien on täytettävä vaatimukset muun muassa SFS-EN-standardeista 62271–1 sekä 62271–102. (SFS 6002: 2018.)

3.1.6 Työvälineet

Keskijännitekojeistojen yhteydessä on aina mahdollisuus valokaarionnettomuudelle. Valokaarta vastaan työntekijä voi suojautua palonkestävillä varusteilla. Parasta on, että koko keho on suojattu. Kypärässä käytetään visiiriä ja mielellään alushuppua. Kaula-aukko kannattaa myös suojata. Haalareilla, ta-keilla ja housuilla on eri asteisia paloluokituksia. Työvaatteiden paloluokitukset perustuvat SFS-EN ISO 11612 - sekä IEC 61482-2 - standardeihin.

Työturvallisuuteen luonnollisesti kuuluvat myös henkilökohtaiset suojavälineet, kuten kuulosuojaimet. Jännitteeltä suojaudutaan eristävillä hanskoilla ja -kengillä tai -saappailla. Myös työaluetta voidaan eristää muun muassa matoilla ja työtasoilla. Sähkötyöturvallisilla työvälineillä on omat standardinsa. (SFS 6002: 2018; Blåfield s.a.)

Jännitteettömäksi saattamisen yhteydessä käytetään kojeiston ja erottimen operointiin tarkoitettuja työvälineitä. Jännitteen koetinta, työmaadoitussauvaa ja siirrettäviä työmaadoituksia tai maadoituskytkintä on käytettävä oikeaoppisesti. Lisäksi on hyvä muistaa erilaiset turvalukot ja -kilvet. Näiden kaikkien erikoistyövälineiden sekä suojavaatteiden kuntoon ja säilytykseen tulee myös kiinnittää huomioita. (SFS 6002: 2018.)



Kuva 3. Kytkentäkielto. (SFS 6002: 2018)

4 OPETUSKOJEISTON VALMISTELU

Opetuskojeisto oli tarkoitus saada käyttökuntoon ja opetuskäyttöön sopivaksi. Tässä luvussa kerrotaan, kuinka opetuskojeisto sähköistettiin. Aluksi käydään läpi projektin visiota ja esitellään laitteistoa, jonka jälkeen mennään toteutukseen.

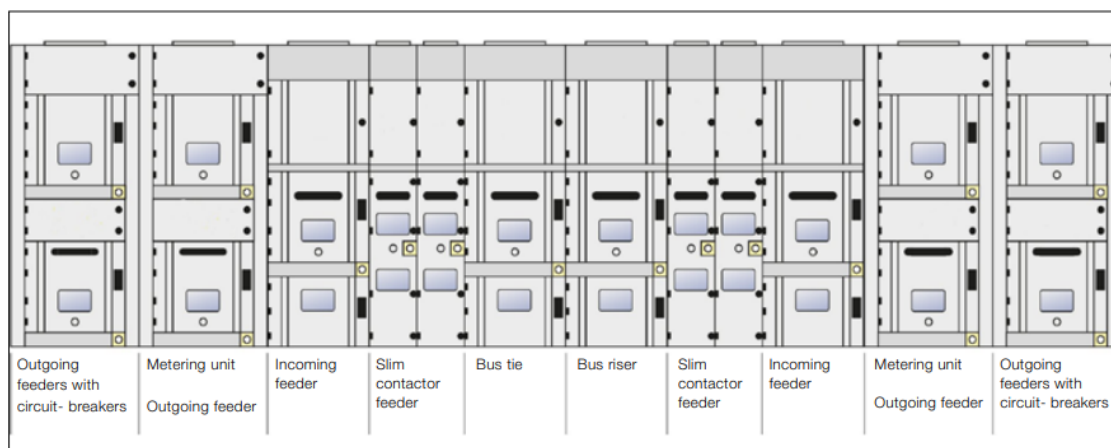
Opetuskojeisto saapui Kotkan kampuksen sähkövoimatekniikan laboratorioon valmiiksi kasattuna. Kojeistolla ei kuitenkaan kyetty tekemään juuri mitään, sillä katkaisija ja suojaus- sekä muut ohjauslaitteet vaativat apusähköä toimiaukseen. Kojeiston tarpeisiin ei ollut saatavissa sopivaa virtalähdettä, eikä myöskään mitään järkevää tapaa kytkeä sähköä. Sähkötyöturvallisuuteen liittyvät työvälineet olivat suurelta osin hakusessa.

Oli ensisijaisen tärkeää, että opetuskojeisto saataisiin käyttökuntoon, jotta päästäisiin testaamaan sen toimintoja laboratorio-olosuhteissa ja laatimaan opetukseen hyvä ohjeistus sekä harjoitustehtäviä. Toimivalla konseptilla laitetta voitaisiin sitten kehittää ja parantaa tulevaisuudessa.

4.1 Opetuskojeiston laitteet

ABB Oy on Suomen suurimpia teknologia-alan yrityksiä. Se on myös osa laajempaa ABB Ltd -konsernia. (ABB lyhyesti a.s.)

Opetuskojeisto on ABB:n ilmaeristetty metallikoteloitu modulaarinen keskijännitekojeisto UniGear SZ1, tyyppiä IF-Incoming. Tyypikuvaus viittaa kojeistomoduurin rooliin kytkinlaitoksilla eli syöttävän kojeistomoduurin kautta sähkövoima tuodaan sisään ja jaetaan eteenpäin muihin kojeistomodueleihin. Kojeisto on suunniteltu sisäkytkinlaitoksiin ja voidaan asentaa suoraan seinää vasten. (UniGear ZS1... 2021.)



Kuva 4. UniGear ZS1 konfiguraatio esimerkki. (UniGear ZS1 Medium voltage... s.a.)

4.1.1 Kiskot

Opetuskojeistossa on kupariset kiskot kolmelle vaiheelle. Kojeiston tyyppikilvessä kiskoston nimellisvirraksi on ilmoitettu 630 A. On kuitenkin niin, että tämä ei ole kojeiston varsinainen nimellisvirta, sillä virtamuuntajan kapasiteetti rajoittaa sitä. Kiskot on sijoitettu metallikoteloidun kojeiston kokooja- ja lähtötilaan kennosovitteiden mukaisesti (UniGear ZS1... 2021). Opetuskojeiston tyyppikilpi on nähtävissä liitteessä 1.

4.1.2 Tyhjiökatkaisija

Opetuskojeistoissa käytössä oleva tyhjiökatkaisija eli ABB:n VD4 on tyypillinen esimerkki nykyaikaisesta ulosvedettävästä katkaisijasta. On huomioitavaa, ettei VD4 ulkoisesti juurikaan eroa valmistajan vastaavien kokoluokkien SF₆-kaasu- ja ilmakatkaisijoista.

Kyseessä on siis erottava katkaisija, jonka erotusasentoa kutsutaan myös testiasennoksi, koska tuolloin kojeisto on irti kiskoista ja helposti käsiteltävissä. Katkaisija voidaan ottaa kokonaan ulos pääkojetilasta siihen tarkoitettuun kuljetusvaunun avulla.

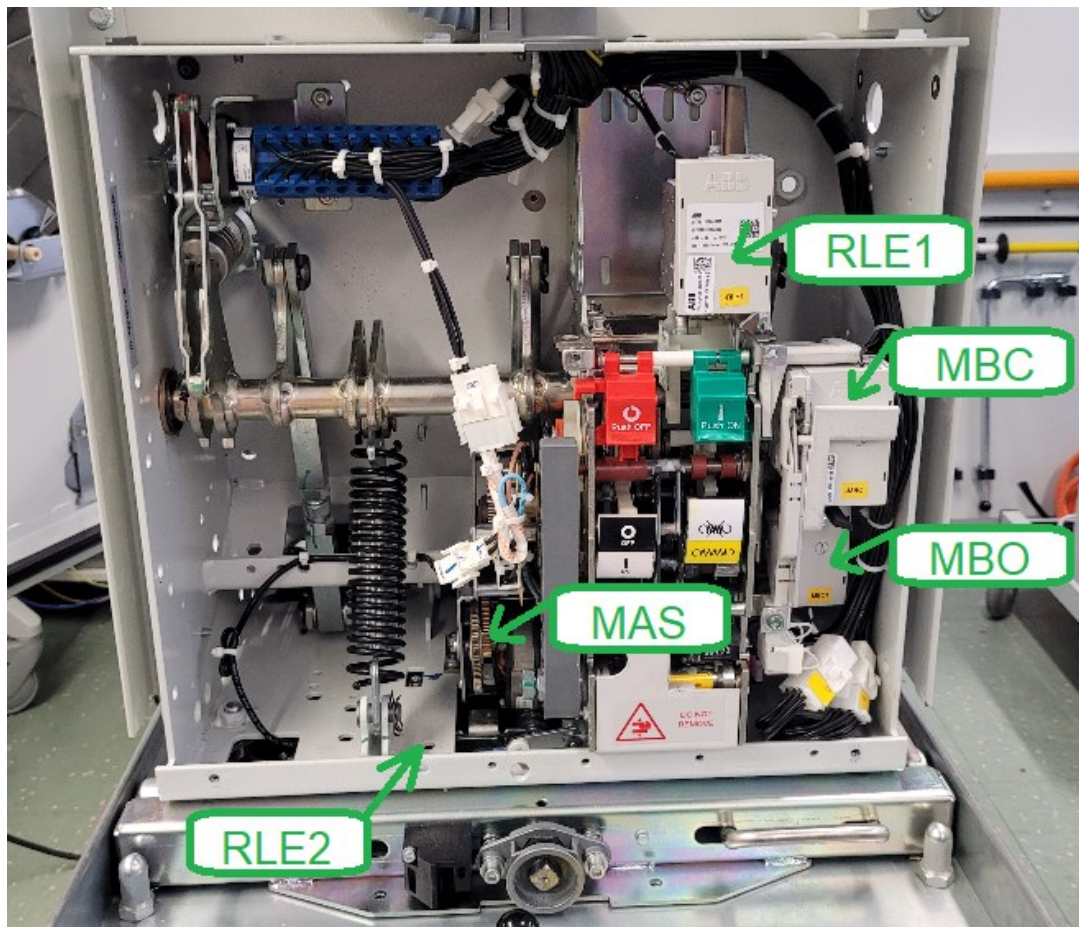


Kuva 5. Opetuskojeiston katkaisija testiasennossa, pääkojetilan luukku auki ja kuljetusvaunu paikoillaan.

Katkaisijan tiedot kannattaa tarkistaa sen tyyppikilvestä. Katkaisijoilla on omat valmistus ja koestus standardit, kuten VD4:n IEC-standardi 62271–100. (UniGear ZS1... 2021). Opetuskojeiston katkaisijan nimellisarvot nähdään liitteestä 2.

Katkaisijan kojeisto on katkaisijan voimavirtaliittimien sulkemiseen ja avaamiseen tarkoitettu jousikojeisto. Sulkumekanismi toimii, kun sen jousi viritetään. Avaaminen on mahdollista aina sulkemisen jälkeen, koska avaamisjousi viritetty mekaanisesti sulkemisen yhteydessä.

Opetuskojeiston VD4-katkaisijan tärkeimpiä sähkökomponentteja ovat katkaisijan sulkemis- (MBC) ja avaamismekanismi (MBO). Lisäksi siitä löytyy lukitusmekanismit katkaisijan sulkemisen estämiseen (RLE1) ja katkaisijan siirtämisen estämiseen (RLE2). RLE2 sijaitsee piilossa katkaisijan alaosassa. Sulkemissousen virittämisen etäkäyttöä varten katkaisijan kojeistossa on myös jousenviritysmoottori (MAS). Katkaisijan kojeistoon on saatavilla muutamia muitakin sähkökomponentteja. (VD4 2023.)



Kuva 6. VD4-katkaisijan keskeisiä sähkökomponentteja.

4.1.3 Mittamuuntajat

Opetuskojeiston mittamuuntajat ovat valuhartsisia, kts. alla oleva kuva. Nämä ABB:n valmistamat jännitemuuntajat, mallia TJC 4 (11000/ $\sqrt{3}$ /100/ $\sqrt{3}$ /100/3 V), on mitoitettu keskijännitteelle (11 kV) ja virtamuuntajat, mallia TPU 40.13, suhteellisen pienelle nimellisvirralle (50 A). Opetuskäyttöön nämä mitoitus eivät kuitenkaan sovi kovin hyvin, koska XAMK:in Kotkan kampuksen sähkö-

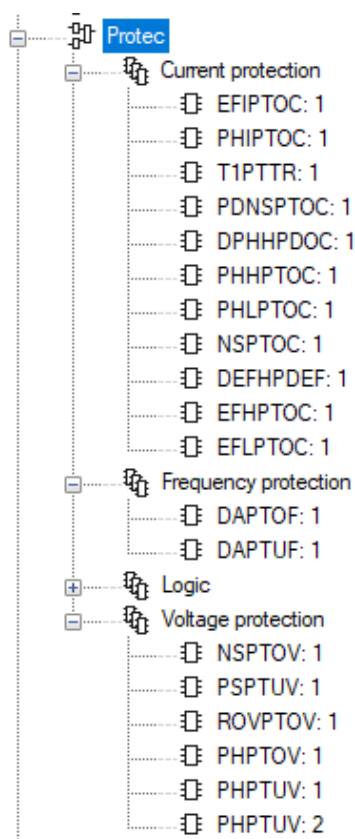
voimatekniikan laboratorioon tuskin saadaan tulevaisuudessakaan keskijännitesyöttöä. Nämä muuntajat pystyvät kuitenkin mittaamaan huomattavasti pienempää käyttöjännitettä ja käyttövirtaa, joskin epätarkemmin.



Kuva 7. Opetuskojeiston jännitemuuntaja. BAT1 -koodi tulee IEC-standardista 81346–2.

4.1.4 Suojarele

Opetuskojeiston suojarele on ABB:n valmistama IED, mallia Relion® REF 630. Se ottaa vastaan analogiasta mittaustietoa mittamuuntajilta ja muilta mahdollisilta antureilta, kuten lämpötila-antureilta. Se saa tilatietoa mm. katkaisijan ja maadoituskytkimen lukituksista. Laitteen ohjelmoitava logiikka antaa hälytyksiä ja katkaisijan laukaisu käskyjä vikojen sattuessa. Lisäksi se huolehtii kojeiston turvallisesta käytöstä mm. sähkölukitusten ohjauksen avulla. Opetuskojeiston suojareleeseen on ohjelmoitu lukuisia virtaan, taajuuteen ja jännitteeseen liittyviä suojausfunktioita, jotka on listattu alla olevaan kuvaan.



Kuva 8. Ote suojareleen suojausfunktioista PCM600-ohjelmistossa: IED:n suojausfunktiot ovat korvanneet vanhemmat yksittäisen suojan omaavat suojareleet.

REF 630 ja monet muut vastaavat suojareleet käyttävät IEC-standardin 61850 mukaista protokollaa, joka otettiin käyttöön yhdenmukaistamaan sähköasemien automaatiota. Tämä standardi sisältää myös laitteiden tiedonmallinnus- ja nimeämiskäytännöt. Yllä olevassa kuvassa nähdään tämän standardin mukaista nimeämiskäytäntöä. (Relion® Protection... 2022.)

4.1.5 Valokaarisuoja

Opetuskojeistossa on ABB:n valmistama REA101-valokaarisuojarele. Se on myös REA100 -valokaarirelejärjestelmän keskusyksikkö. Tätä mallia on valmistettu yli 20 vuotta. Releestä löytyy kaksi valoanturia, joihin liitetään paljas valokuitulenkki. Lenkki kiertää koteloidun kojeiston sisäseiniä. Suojareleen lisäksi myös valokaarisuoja on liitetty virtamuuntajien toisiopiiriin. Katso havainnollistava kuva liitteestä 3.

Normaalissa operaatitilassa rele laukaisee, kun se havaitsee sekä kirkkaan valon että ylivirran, jotka valokaari tyypillisesti aiheuttaa. Releessä on myös

laukaisun testaamiseen tarkoitettu moodi, jossa ylivirtaa ei tarvita laukaisuun eli pelkkä kirkas valo riittää. (REA101 Arc protection... 2002.)

4.1.6 Apusähkökeskus eli toisiokojetila

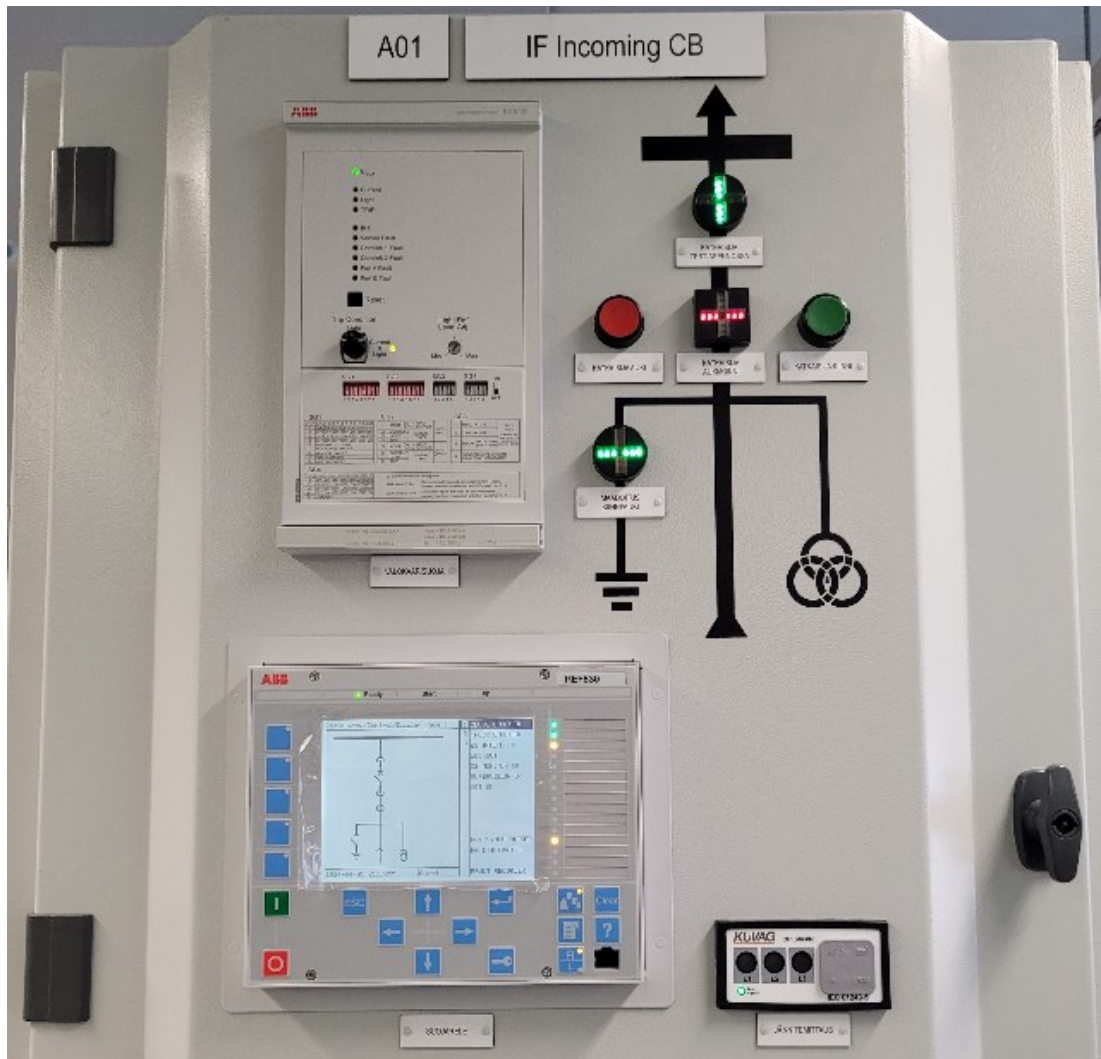
Apusähkökeskuksessa on yleensä erilliset virtapiirit ohjaus ja suojauslaitteille sekä mittamuuntajille. Sähköt tuodaan piireihin johdonsuojakatkaisijoiden kautta, joilla piirit suojataan ja voidaan katkaista. Suojareleet ja ohjauslaitteet yleensä asennetaan apusähkökeskuksen oveen. Opetuskojeiston katkaisija ja suojareleet sekä muut ohjauslaitteet tarvitsevat pien- ja pienenjännitteistä apusähköä toimiakseen. Monet kojeiston laitteet eivät välttämättä toimi normaalilla 230 V:n vaihtosähköllä vaan tarvetta on myös 110 V:n tai 24 V:n tasasähkölle. (UniGear ZS1... 2021.)



Kuva 9. Opetuskojeiston toisiokojetila.

Opetuskojeistossa suojareleen ja valokaarisuojan lisäksi oveen on asennettu opetuskäyttöä varten erilliset katkaisijan ohjauspainikkeet sekä katkaisijan että maadoituskytkimen asennon indikointivalot kytkentäpiirroksen kera (Kadlec 2022). Lisäksi oveen on asennettu Kuvag CPI plus/R-jänniteindikaattori, joka

ilmaisee kiskojännitteen, jos se on laitteelle mitoitetulla tasolla, sekä apusähkön olemassaolon (Voltage display systems KUVIN s.a.).



Kuva 10. Toisiokojetilan luukku: yläpuolella on valokaarisuoja, lisävalot ja ohjauspainikkeet, alapuolella suoja- ja kiinteän jännitteen indikointi.

4.1.7 Maadoituskytkin

Opetuskojeiston maadoituskytkin, ABB:n EK6, yhdistää jokaisen vaiheen kiskot kojeiston suoja- ja maadoitukseen. Tämä tarkoittaa myös sitä, että maadoituskytkin sulkee kaikki kolme vaihetta metallikoteloidun kojeiston runkoon. Siksi maadoituskytkimen toiminta turvataan mekaanisilla ja sähköisillä lukituksilla. Kojekabin lähtötilan luukku voidaan avata vain, jos maadoituskytkin on suljettu. Kytintä operoidaan manuaalisesti maadoituskytkimen kammella. (IEC indoor earthing switch EK6 s.a.)

4.2 Opetuskojeiston IEC 81346-2 mukaiset merkinnät

Opetuskojeiston katkaisijan sähkökomponenttien lyhenteitä ja kojeiston piirikaavioita tutkiessa huomattiin komponenttien merkintöjen poikkeavan SFS-käsikirja 16:n mukaisista merkinnöistä.

Nykyään teollisuudessa ja julkisen puolen projekteissa käytetään komponenttien merkintätapaa, joka perustuu SFS-EN IEC 81346-2 standardin suositukseen. Tämä standardi on tulkinnan varainen eli mm. piirikaavioita sovelletaan merkinnöillä, joita standardista ei välttämättä suoraan löydy. (SFS-EN 81346-2: 2022; Kadlec 2022.)

4.3 Ongelmat

Opetuskojeistoon ei ollut mahdollisuutta kytkeä keskijännitesyöttöä Kotkan kampuksen sähkövoimatekniikan laboratorioissa. Syöttökiskoihin ei ollut mahdollista kytkeä 400 V enempää, ainakaan ilman jännitteen korottavaa muuntajaa. Jännitteen korottaminen esimerkiksi 1 kV:iin ei ollut kojeiston nimellijännitteen kannalta järkevää, sillä jännitetaso olisi silti ollut kaukana 11 kV:sta.

Suurjännitteen tuominen laboratorioon olisi tarkoittanut myös sitä, että osa tilasta olisi pitänyt muuttaa suurjännitealueeksi, mikä olisi ollut kohtuullisen iso renovaatio (SFS 6001). Piti siis toivoa, että kojeistolla voitaisiin toteuttaa mittauksia ja edes joitakin suojaustoimintoja pienjännitteellä.

Koteloiduissa kojeistoissa ei ole esimerkiksi töpseliä, jonka kautta kojeistoon saisi apusähköt. Sen sijaan apusähköistys suunnitellaan erikseen ja kojeistoihin tuodaan tarvittavat sähköt muualta, sillä normaalisti UniGear ZS1 olisi osa sähkölaiteistoa.

Kojeiston apusähköt olivat pulmallisia, sillä tarvittiin 230 VAC:n lisäksi 110 VDC. Suojareleen I/O-yksiköt ehdottomasti vaativat 110 VDC. VD4-katkaisijan kojeet, kuten vaunun lukitus solenoidi RLE2:een ja jousen viritys moottori MAS:iin tarvitsevat katkaisijan tyyppikilven mukaan 110 VDC. Tosin tarkempi tutkimus osoitti, että katkaisijan sekä kojeiston muutkin komponentit, suojareleen I/O-yksiköitä lukuun ottamatta, on suunniteltu toimimaan myös 230 VAC:llä.

Apukojeiston lisäohjauspainikkeet ja indikointivalot tarvitsevat 24 VDC. Tämä oli helppo toteuttaa 230/24 AC/DC-virtalähteellä, sillä niitä oli saatavilla valmiiksi kampuksella. 110 VDC:n tuottaminen oli hankalampaa, sillä siihen tarkoitettujen tehovirtalähteiden hinnat olivat kalliita ja turhan tehokkaita. Normaalisti 110 VDC tehdään sopivalla akustolla, mutta sellaisen hankkiminen ja asentaminen opetuskojeistoon jo projektin alkuvaiheessa olisi ollut kallista ja työlästä.

ABB olisi tarjonnut valmiita akustoja kojeiston lähtötilaan (UniGear ZS1... 2021). Tätä ei kuitenkaan, ainakaan toistaiseksi, päätetty asentaa. Asennus olisi vienyt koko lähtötilan, jolloin sen hyödyntäminen työmaadoituksen harjoittelemisessa ei välttämättä olisi onnistunut.

Kojeiston kaapelointiin piti keksiä jokin ratkaisu. Kaapelointi tulisi asentaa suunnitellusti kojeiston alapuolelta eli lattian alta. Laboratoriossa oli kyllä korotettu lattia syöttökaapeleille, mutta tällöin lattiaa olisi pitänyt työstää kojeiston alta. Kotkan kampus oli myös muuttamassa uuteen rakennukseen, eikä sinne tulevan sähkövoimatekniikan laboratorion olosuhteista ollut tietoa. Kojeiston etuluukuista ei kaapeleita luonnollisesti voitu syöttää, sillä luukkujen oli oltava kiinni kojeiston normaalissa toiminnassa.

4.4 Toteutus

Aluksi päätettiin, että 400 V riittää tehonsyöttöön, koska suojareleen asetuksia muuttamalla pystyttiin todennäköisesti käyttämään kojeistoa myös tällä jännitteellä, ainakin jossain määrin.

Laboratoriossa oli muuhun opetuskäyttöön hankittu säätömuuntajavaunu. Vaunussa oli kolmivaiheinen diodisilta, jolla vaihtosähkö kyettiin muuttamaan tasasähköksi. Vaikka tämän tasasuuntaajan tuottama sähkö ei ollut niin hyvälaatuista kuin akuston, se todettiin kelvolliseksi, kun kaikki kolme vaihetta tasasuunnattiin. Muuntajavaunun etuina olivat sen liikuteltavuus ja valmis laitteisto, johon voitiin liittää myös banaaniliittimiä. Lisäksi 230 VAC:n syöttö saatiin vaunun pistorasiasta. Vaunusta saatiin sopivaksi säädetty tasajännite, jolla kompensoitiin myös jännitteen alenema.

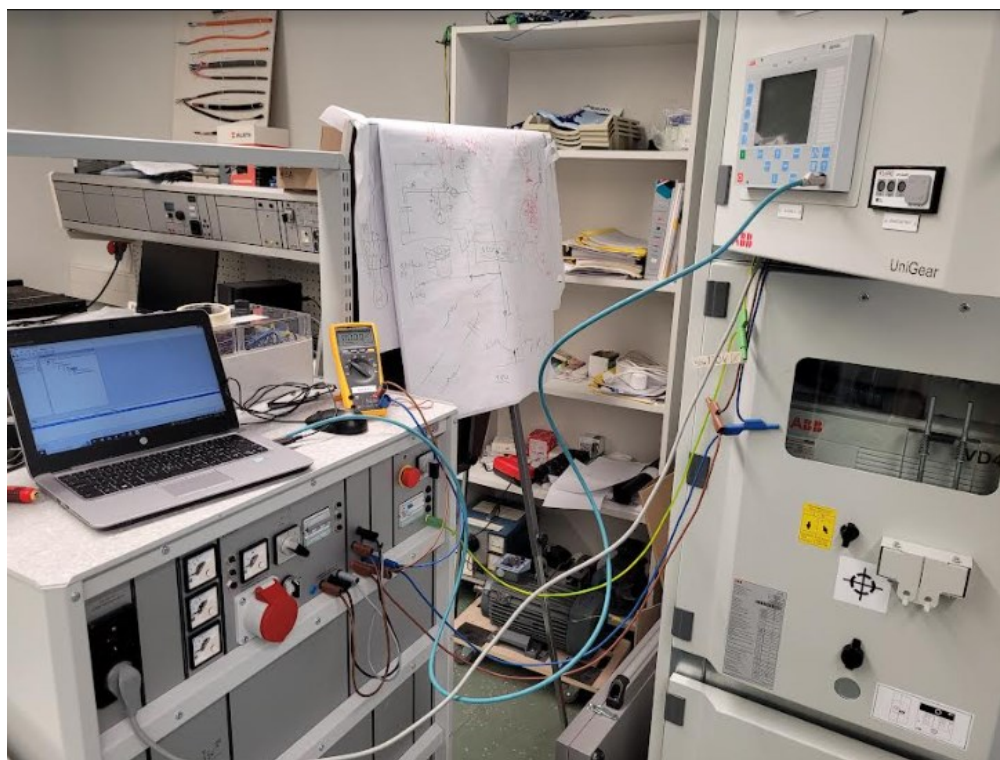


Kuva 11. Siirrettävä säätömuuntaja tasasuuntauksella, sopiva tasajännite nähdään helposti yleismittarilla.

Ylimääräisille ohjauspainikkeille ja indikointivaloille tarkoitettu 24 VDC saatiin asentamalla kojeiston tosiokojetilaan sopiva virtalähde (230/24 V AC/DC). Niitä oli jo valmiiksi saatavilla. 24 VDC:n virtalähteelle oli kaapissa myös hyvin tilaa.

Kun opetuskojeiston valmiita piirikaavioita ja apusähkökaapin sisustaa oli tutkittu, todettiin että sähköjen kytkeminen oli varsin yksinkertaista. Apusähkön syötölle oli varattu oma riviliitinpaketti, josta piti löytää oikeat johtimet. Tasasähköpiireissä piti huomioida, että plus- ja miinusnavat laitetaan oikein päin.

Ennen kuin varsinainen asennus aloitettiin, testattiin tosiokojoiden toimivuus tuomalla johtimet apusähkökaapin ovesta. Käytännössä ovi voi olla raollaan myös operoinnin aikana, toisin kuin pääkojetilan ja lähtötilan luukut. Suojarele ja katkaisija käynnistettiin ja niiden todettiin toimivan.



Kuva 12. Kojeiston toimivuuden testaus ennen asennusta.

Seuraavaksi oli aika suunnitella piirikaavio lisäasennukselle, joka oli varsin yksinkertainen toteuttaa. Tässä työssä ei nähty tarvetta laskea mitoituksia johtimille, koska varsinkin apusähkön kuluttama teho oli varsin mitätön. Piirikaavio on nähtävissä liitteessä 4.

Laboratoriossa valmiina ollutta asennuskoteloa päätettiin käyttää liitântäalustana, johon sähkön syöttökaapelit kytkettiin. Liitântäalustan kiinnitys oli aluksi ongelma, kunnes keksittiin kiinnittää asennuskourua kojeiston vasemmassa ulkoseinässä oleviin pultteihin. Näin ollen, itse kojeistoon ei tarvittu tehdä mitään ylimääräistä työstöä. Asennuskotelon kiinnittäminen kouruun oli myös helppoa.



Kuva 13. Liitäntäalusta toimiva asennuskotelo, nollavaihe ei mene kojeiston sisään.

Kouru johdettiin kojeiston katolle, josta sitä jatkettiin katolla olevien koontikis-kojen päiden viereen. Katolla kourua jatkettiin myös vasempaan takanurkkaan ja nurkkaa myöten alas paineenpurkausaukosta kojeiston lähtötilaan. Kourulle oli juuri ja juuri tarpeeksi tilaa, jotta se mahtui sinne. Kourut kiinnitettiin pulteilla ja kulmalevyillä hyödyntäen purkausaukon luukun pulteille tarkoitettuja reikiä.



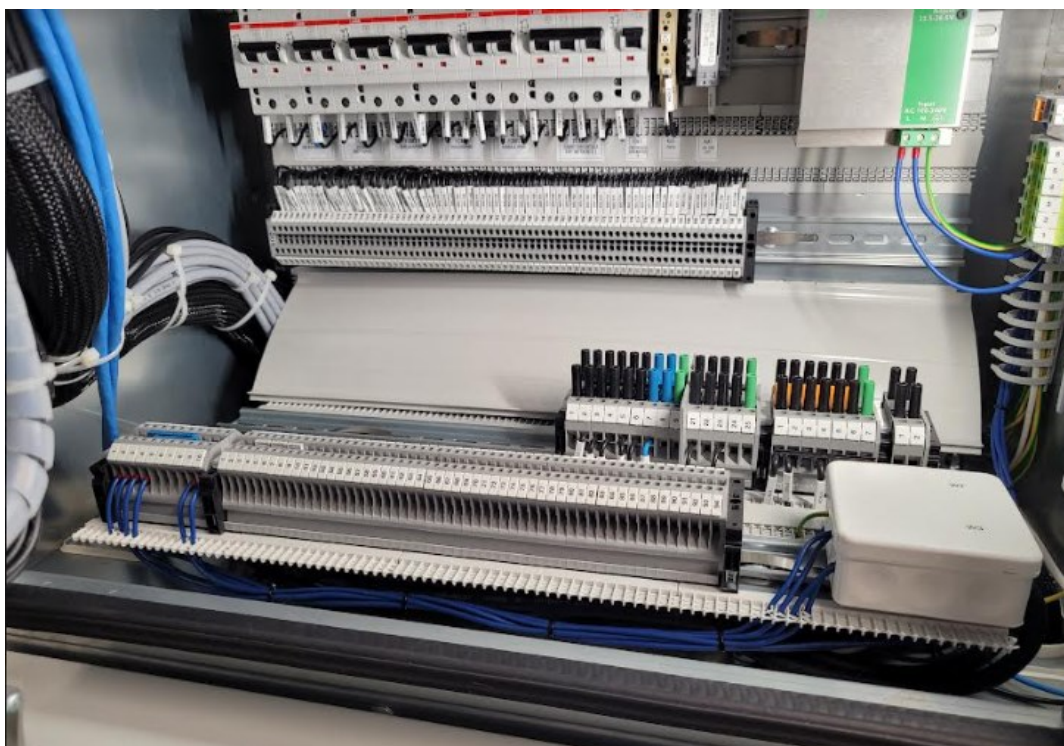
Kuva 14. Opetuskojeiston yläpuoli, kokooja kiskot ja avattu paineenpurkausluukku.

Johtimina päätettiin käyttää kumikaapelia, koska sitä oli saatavilla alusta alkaen. Kumikaapeli on taipuisaa ja kestävä, kun huomioidaan kaapelien jokseenkin kyseenalainen reitti. Tosin, kun kouru mahtuikin kojeiston sisään, olisi voitu käyttää myös normaaleja asennuskaapeleita.



Kuva 15. Asennuskouru valmiina.

Kaapelit saatiin kiinnitettyä nippusiteillä yllättävän hyvin metallikoteloinnin aukkoja hyödyntämällä. Ja lopulta toisiokojeiden kaapelit saatiin johdettua vasemmalta laidalta niille virallisesti varattuun tilaan, josta ne nousivat apusähkökaapin sisään. Kaappiin asennettiin jakorasia, johon kaapelit päätettiin. Jakorasialta loppumatka riviliittimille jatkettiin yksittäisillä johtimilla.



Kuva 16. Jälkiasennukset toisiokojetilaan: vasemmalla kaapelit, oikealla virtalähde ja asennusrasia, edessä johtimet. Liitännät näkyvät liitteessä 4.

Asennuskoteloon kiinnitettiin suunniteltu riviliitinpakka, johon kaapelit osaltaan päätettiin. Kotelon kanteen asennettiin banaaniliittimiä sekä kytkin, jolla apusähköt voidaan kytkeä päälle.

Tulevaa opetusta varten päätettiin asentaa myös ylimääräinen työvalo kojeiston lähtötilaan. Pieni valonheitin kiinnitettiin lähtötilan luukun yläpuolelle magneeteilla. Lampun syöttökaapeli tuotiin sopivaa reittiä kourulta kojeiston oikealle puolelle ja päätettiin jakorasiaan sisään. Se jäi piiloon paneelin taakse vastaavalle alueelle kuin vasemmalla puolella olevat kaapelitiet.

Kolmivaiheisen pistotulpan omaava kumikaapeli kojeiston voimavirtasyöttöä varten kytkettiin johdonsuojakatkaisijaan asennuskotelolla. Siitä se jatkettiin kourua pitkin lähtötilan kiskoille. Todettiin, että helpoin tapa liittää voimavirtajohtimet kiskoihin oli käyttää jännitemuuntajien kiinnityksiä. Kojeston yläpäässä koontikiskoihin liitettiin erilliset johtimet, jotka tuotiin katolla olevan kourun sisään asennetulle jakorasialle. Jakorasialta kaapeli jatkettiin takaisin asennuskotelolle ja riviliittimien kautta banaaniliittimiin.

Kaikissa pulttien avulla kiinnitetyissä johtimissa käytettiin Abiko-rengasliittimiä, sillä ennen tätä lopullista asennusta oli suoritettu testiasennus pelkillä kumi-kaapeleilla, ilman kunnollisia liittimiä. Tuolloin suojariele havaitsi häiriön sähkönsyötössä, jota ei ilmennyt enää lopullisen asennuksen jälkeen. Kojeiston sisällä kaapelin vedoissa huomioitiin terävät metallireunat ja niitä pyrittiin pehmentämään teippaamalla. Myös kaapeleiden suojamaajohtimet asennettiin metallirunkoon sekä varsinaiseen maadoituskiskoon rengasliittimillä.

Kaapelivetojen yhteydessä päätettiin tehdä myös suojarieleen takapuolella oleviin LAN-portteihin jatkot, jotta niihin saataisiin halutessa yhteys asennuskotelolta.

Lisäksi kojeiston VD4-katkaisijan operointiin tarvittiin katkaisijan huoltovaunu. Vaunun avulla katkaisija voitiin helposti vetää ulos kojeistosta ja viedä huollettavaksi. Vaunu piti kasata erikseen laboratoriossa, ja se oli suunnilleen yhtä helppoa kuin minkä tahansa huonekalun kasaaminen. On huomioitavaa, että vaunun pöytä oli asennettava ja asetettava sopivalle korkeudelle, koska muuten vaunun kiinnitysmekanismi ei toimi.

5 OPETUKSEN VALMISTELU

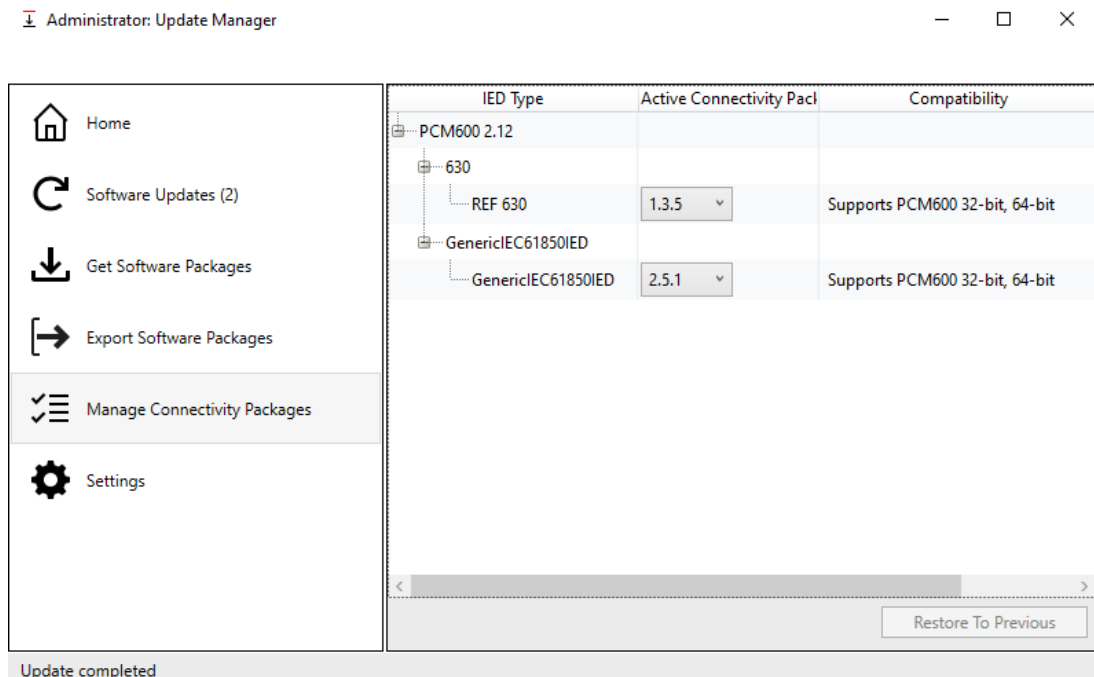
Kun asennukset saatiin valmiiksi ja laitteiden toiminta oli testattu, aloitettiin opetusharjoitusten suunnittelu. Opetuskojeisto oli nyt helppo liittää säätömuuntajavaunuun suunnitellulla tavalla ja sopiva apusähköjännite löydettiin parhaiten yleismittarin avulla.

Tässä luvussa perehdytään siihen, mitä opetuskojeistolla voidaan tehdä tällä hetkellä. Kuva 11. Siirrettävä säätömuuntaja tasasuuntauksella, sopiva tasajännite nähdään helposti yleismittarilla, kuten kuvassa 11. nähdään. Tutkimukseen kuului vielä selvittää kojeiston operointiin eli katkaisijan ja suojarieleen sekä valokaarisuojan käyttöön liittyviä asioita. Samalla perehdyttiin siihen, kuinka laitteiston jännitteettömäksi saattoa voitaisiin harjoitella opetuskojeistolla.

5.1 Suojareleen käyttöönotto PCM600-ohjelmistolla

ABB tarjosi PCM600-ohjelmistoa, jolla Relion®-malliston suojareleitä voidaan ohjelmoida monipuolisemmin, kuin suoraan releen HMI-näytöltä. PCM600-sovelluksen ja suojareleen välille saatiin lähiverkkoyhteys CAT6a-kaapelilla. Sovelluksen käyttö vaati perehtymistä, sillä uuden suojareleen yhdistäminen sovelluksessa ei suoraan onnistunut pelkällä kaapelin yhdistämisellä.

PCM600-ohjelmiston lataaminen tietokoneelle onnistui ABB:n nettisivujen kautta. Jotta ohjelmiston saatiin varmasti toimimaan, tuli ladata myös Update Manager -sovellus, jolla PCM600-ohjelmistoa kyettiin päivittämään. Update Managerin kautta PCM600:lle ladattiin myös halutut suojareleiden datapaketit.

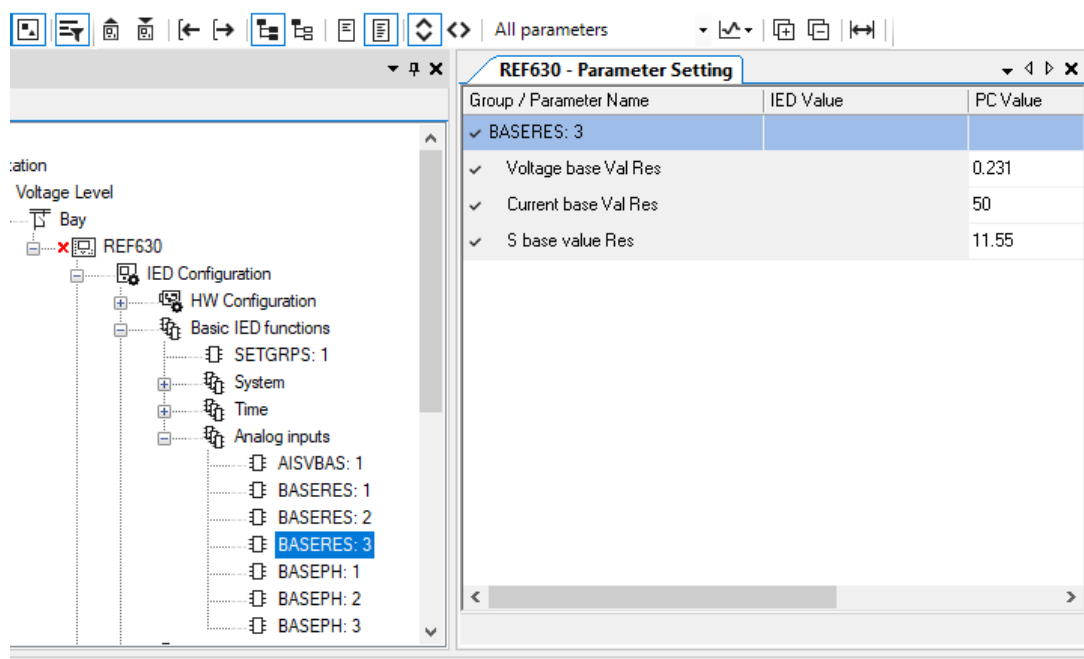


Kuva 17. Update Manager ja opetuskojeiston suojareleelle sopivat datapaketit.

Tehdasasetuksena suojareleellä oli käyttäjäprofiilina Superuser, joka omasi kaikki käyttöoikeudet eikä vaatinut salasanaa. Kun REF630-releelle tarkoitettu profiili oli asetettu PCM600-ohjelmistoon ja lähiverkkoyhteys saatiin, voitiin releen asetuksia muuttaa ja tallentaa sekä päivittää. Laitteelle luotiin käyttäjätilit, eli Admin, Designer, Engineer ja Operator. Käyttäjillä saatiin kojeistolle tietoturvaa, sillä silloin kuka tahansa ei päässyt muuttamaan releen asetuksia suoraan.

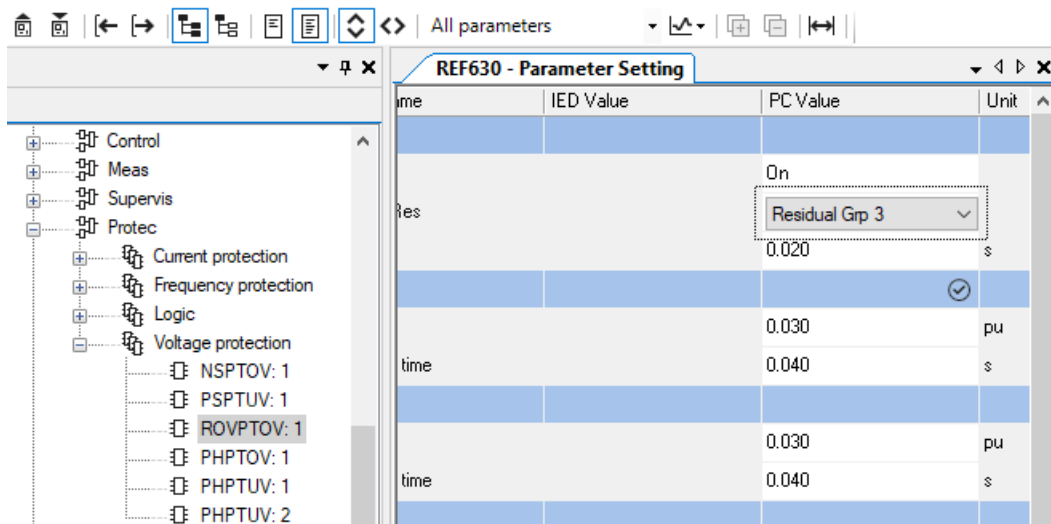
PCM600-ohjelmiston kaksi tärkeintä applikaatiota olivat Parameter settings sekä Application configuration. Parameter settings -osiosta muutettiin suojarieleen parametrejä, kuten suojausten aikarajoja. Tätä kutsutaan myös releaseteluksi. Application configuration -sovelluksessa oli mahdollista lisätä ja poistaa sekä muuttaa releen varsinaista logiikkaa, joka oli ohjelmoitu FDB:llä. Logiikkaa seuraamalla päästiin jyvälle muun muassa siitä, kuinka eri suojaukset vaikuttavat toisiinsa sekä mistä eri hälytykset tulivat.

Yksi opetuskojeiston kannalta tärkeimmistä asetuksista, jonka parametrien muutoksella voi tehdä, oli muuttaa suojarieleen mittamuuntajien perusoletusarvoja. Basic IED Configuration/Analog input -valikosta löytyi parametriryhmät BASEPH pää- tai vaihejännitteelle sekä virralle ja BASERES vika/vuotojännitteelle ja -virralle. Yksi molemmista ryhmistä otettiin opetuskäyttöön, muuttamalla jännitteen arvot pienjännitteelle sopivaksi.



Kuva 18. Releen mittamuuntajien oletusarvojen muuttaminen PCM600-ohjelmistolla.

Kun tämä oli tehty, piti vielä muuttaa mittaus eli Supervis ja suojaus Protec -valikoista jokainen suojausfunktio-parametri seuraamaan tätä muutettua moodia. Näin suojariele saatiin reagoimaan tuotettuihin vikoihin pienjännitteellä. (Protection and Control...2022.)



Kuva 19. Oletusarvoryhmän valinta suojausfunktiolle. Residual Grp 3 viittaa BASERES 3 ryhmän parametreihin.

5.2 Kojeiston testaukset

Perehdytään lisää opetuskojeiston laitteiden toimintaan. Opetuskojeistolla oli tarkoitus pitää koulutusharjoituksia, jotta kojeistoja oppisi tuntemaan. Kojeistoon perehtymiseen käytettiin valmistajan UniGear ZS1-, REF 630- ja VD4-manuaaleja sekä opetusvideomateriaalia. Opetusvideomateriaalit UniGear SZ1 kojeiston operointiin ja huoltoon olivat saatavissa suurelta osin ABB:n tarjoamassa Closer-mobiilisovelluksessa (Collaborative Operations... s.a.).

5.2.1 Katkaisija

Kojeistojen pääasiallinen tehtävä on katkaisijan operointi. Ulosvedettävä, erotettava katkaisija oli joko kiinnitetty kiskoihin eli valmiusasennossa tai erotettuna eli testiasennossa tai sitten kokonaan ulkona kojeistosta eli huollettavana. Opetuskojeiston katkaisijan liikuttaminen kojeiston sisällä valmiuteen tai testiasentoon tapahtui manuaalisesti valmistajan tarjoamalla pyöritettävällä kammella. Kojeiston tilaa arviottiin mm. visuaalisesti pääkojetilan luukun lasin läpi.

Katkaisija oli joko kiinni- tai auki-asennossa. Auki- ja kiinnikomentoja pitäisi voida antaa suojareleeltä paikallisesti tai etäohjattuna. Etäohjausta ei ollut asennettu ja suojareleen paikallisojaukskaan ei toiminut. Katkaisijassa itsessään oli kuitenkin manuaaliset painonapit, joita voitiin operoida myös pääkojetilan luukun ulkopuolelta. Kojeiston tila voitiin tarkistaa myös suojareleen näytöltä.

Toisiokojetilan ovessa oli indikointivalot katkaisijan tilan ilmaisemiseen. Ovessa oli myös erilliset ohjauspainikkeet. Nämä napit tulivat tarpeeseen, sillä jostakin syystä suojarileen paikallista katkaisijan ohjausta ei saatu toimimaan, kuten jo edelle mainittiin.

Katkaisijan sisällä oli jousimekanismi auki- ja kiinniasentoihin. Avausjousi virittyi mekaanisesti aina, kun katkaisija löi kiinni. Sulkujousimekanismi oli monimutkaisempi, koska toimiakseen se piti virittää joka kerta, joko manuaalisesti kahvalla tai jousenviritysmoottorilla. Jousimekanismin etäohjaus hyödynsi sähköisiä ohjaus- ja lukituskomponentteja, jotka esiteltiin luvussa 4. (Collaborative Operations... s.a.)

5.2.2 Katkaisijan lisätutkimukset

Katkaisijaa ei voitu sulkea ilman apusähköä tai sulkulupaa suojarieleeltä. Katkaisijan erotusasentoa sanottiin testiasennoksi, koska tuolloin katkaisijaa voitiin avata ja sulkea huoletta. Katkaisija kyettiin tuomaan kokonaan ulos kojeistosta, kun se vedettiin sille tarkoitetun huoltovaunun päälle.

Ennen ulosvetoa katkaisijan pistoke tuli irrottaa kojeistosta. Kojeston ja katkaisijan välinen apusähkö kulki tämän pistokkeen kautta. Apusähkö voitiin katkaista kojeistosta kokonaan ennen tätä toimenpidettä, mutta se ei ollut välttämätöntä. Apusähkön ollessa päällä, pistokkeen irrottaminen aiheutti hetkellistä sähkölukitusten naksumista ja suojariele antoi hälytyksen. Vaunun päällä katkaisija on irti kojeistosta, mutta se pystyttiin vielä liittämään apusähköön valmistajan tarjoamalla jatkokaapelilla.

Katkaisijan sulkujousen viritysmekanismia testattiin manuaalisesti apusähköjen ollessa kytkettynä, kun jousenvirityspiiri avattiin väliaikaisesti apusähkökaapista. Tällöin oli kuitenkin tärkeää huomioida mahdolliset varotoimet, ettei kukaan sulkenut jousenvirityspiiriä huomaamatta. Katkaisijan etukuori avattiin ruuvimeisselillä, jolloin kunnolla nähtiin katkaisijan kojeisto. Tällöin tarkasteltiin, kuinka jousenvirityspiiri toimi käytännössä, ja paikannettiin katkaisijan tärkeimmät komponentit.

Joissakin työpaikoissa on ollut tapana avata katkaisija ja varmistaa ettei sulkujousi ole viritettynä ennen etukuoren poistoa. Huolloissa katkaisijaa ei kytketä apusähköihin, sillä sähköasennukset pyritään tekemään jännitteettömänä ja katkaisijan sulkemisen ja avaamisen toimivuus voidaan suorittaa testiasennossa. (Vcb trip alarm... 2020.)



Kuva 20. Katkaisija ulkona vaunussa, jatkokaapeli kiinnitettynä ja etukuori poistettuna.

Laitteen operointi paikallisesti vaati kuulosuojaimien käyttöä, koska laukaisumekanismi on varsin kovaääninen, erityisesti jos etukuori oli poistettu. Avatun katkaisijan kanssa oli noudatettava äärimmäistä varovaisuutta, sillä katkaisijakojeiston jousivoima ei säästä kenenkään sormia.

5.2.3 Suojarele

Opetuskojeiston suojareleen paikalliskäyttö oli mahdollista HMI-paneelin kautta. Releen etupaneelissa oli LAN-portti, joka käytti DHCP-protokollaa. Vaihtoehtoisesti voitiin käyttää erikseen määriteltyä IP-osoitetta käyttävää LAN 1-porttia, joka sijaitsi suojareleen takaosassa toisiokojetilan sisäpuolella.

Portti oli mahdollista tuoda asennuskotelolle kytkemällä erikseen asennettu sininen Ethernet-kaapeli kiinni. Oli huomioitavaa, ettei releen etupuolen portti toiminut kunnolla, jos LAN 1-portti oli kytkettynä. Asennuskoteloon asennettiin myös ylimääräiselle HMI-paneelille tarkoitettu LAN-portti, jonka alkuperäinen lähtö oli myös suojareleen takaosassa.

Kojeistoa operoidessa yritettiin saada aikaa erilaisia vikoja. Tutkimuksessa testattiin mm. alijännitelaukaisua ja laitevikaa. Todettiin, että alijännite laukaisu eli PHPTUV-suojafunktio toimi varsin hyvin. Laitevian laukaisun ongelmana oli se, että usein verkon vikavirtasuojia ehtii laukaisemaan ennen suoja-relettä, jolla ei ollut varsinaista suojausfunktioita vikasuojaukseen pienjännitteelle.

Suojareleen nollapisteen ja maan välisen ylijännitteen kasvun estämisen laukaisu (residual over voltage protection) eli ROVPTOV-suojafunktio kuitenkin toimi usein vikavirtasuojia nopeammin tietyissä vikatilanteissa. Vikatilojen simuloinnin kehittämiseen jäi vielä paljon varaa tulevaisuuden tutkimuksiin.

Vian syntyessä suojarele hälytti ja mahdollisesti laukaisi katkaisijan eli trippasi. Tällöin vika selvitettiin ja korjattiin. Suojareleeltä nähtiin vikailmoitus ja sitä vastaava indikointivalo. Jos vikailmoitusta ei osattu tulkita, esimerkiksi jos ei tiedetty, mitä "RES UV TRIP" tarkoitti, se täytyi selvittää muilla keinoilla.

Yksi vaihtoehto oli avata PCM600-ohjelma ja Application configurations. Siellä avattiin ikkuna, jossa nähtiin kunkin LED-valon funktio ja seurattiin logiikkaa sitä vastaavalle suojausfunktioille. Nämä kaikki suojaukset ja muut toiminnot oli nimetty IEC-standardin 61850 mukaan, ja niistä löytyi tietoa teknisestä REF 630 -manuaalista.

Vian kuittaaminen onnistui HMI-näytöltä, kun Clear LEDs -valikosta kuitattiin Start and Trip LEDs ja All indication LEDs. Sen jälkeen kuitattiin vielä lukitukset Clear Lockouts -valikosta. Oli huomioitavaa, että nämä toiminnot vaativat käyttöoikeuden eli käyttäjän ja salasanan. Suojareleen paikallisoperointia aloittaessa oli hyvä kirjautua sisään, ettei salasanaa tarvinnut kirjoittaa joka kerta uudelleen. (Relion® Protection... 2022.)

5.2.4 Valokaarisuoja

Valokaarisuojan testaaminen todellisessa käytössä ei ollut opetuskojeiston kanssa mahdollista, sillä valokaarisuoja mittaa valokaareissa valon lisäksi syntyvää ylivirtaa. Rele pystyttiin kuitenkin asettamaan valo- eli testimoodiin, jolloin kirkas valo riitti antamaan katkaisijalle käskyn avautua eli tripata.

Opetuskojeiston REA101-valokaarisuojan toiminta todettiin yksinkertaisimmillaan, kun toinen valokuitulenkkin liitinpää irrotettiin ja osoitettiin mihin tahansa valonlähteeseen. Valo kulkeutui kuidun päästä todella helposti anturille, toisin kuin kuidun sivulta. Anturien testaamiseen valokuidun sivusta käytettiin tarpeeksi kirkasta valonlähdettä. REA101-manuaali suositteli käyttämään kirkasta salamavaloa.

Oli myös tärkeää huomioida, että valokuidun tulisi olla ehjä, sillä varsinkin poikki menneestä kuidusta valo kulkee antureille huomattavasti helpommin. Tämän tyyppiset viat, voivat aiheuttaa vahinkolaukaisuja. Tosin normaalisti rele pitäisi asettaa virta-valo-moodiin eli mittaamaan myös ylivirtaa. (REA101 Arc protection... 2002.)

Opetuskojeistolle hankittiin erillinen järjestelmäkameran salamavalolaite ja etälaukaisin, jotka yhdistettiin niille tarkoitettuun tukivarteen. Näiden avulla voitiin tripata katkaisija painamalla etälaukaisinta, kun salamavalolaite oli asetettu valokuidun lähelle. Tutkimuksessa todettiin, että esimerkiksi kaupasta hankittulla 20 000 lumenin valonheittimellä ei saatu aikaan tarpeeksi kirkasta valoa laukaisuun.



Kuva 21. Salamavalolaite valokaarisuojalle.

5.3 Hankitut suojarusteet

Keskijännitekojeistojen turvalliseen operoimiseen ja huoltoon sekä muiden toimenpiteiden ohella tiedostettiin erilaisien suojavälineiden olemassaolo. Opetuskojeiston yhteydessä järjestettävää koulutusta varten hankittiin jonkinlainen esimerkkivarustus, jota voidaan tulevaisuudessa parantaa.

Harjoituksessa kokeiltiin palonkestävää haalaria ja kypärää visiirillä. Tähän liittyen ei ollut erillistä alushuppua, joka olisi myös hyvä lisävaruste. Tarjolla olivat myös DIN-EN-60903-standardin mukaiset kilovoltin suojakäsineet, joiden oikeaoppiseen säilytykseen tulisi kiinnittää huomiota. Tuotepakkauksen ohjeen mukaan hanskat olisi säilytettävä hämärässä ja niille varatussa suljetussa pakkauksessa. Laboratoriossa oli lisäksi tavallisia työkalusineitä ja kuulosuojaimia.



Kuva 22. Suojakäsineet.

5.4 Jännitteettömäksi saattaminen

Laitteiston jännitteettömäksi saattamista kutsutaan usein pelkästään työmaadoituksesi, vaikka se on vain yksi osa prosessia. Opetuskojeiston yhteydessä ei tietenkään voitu harjoitella oikealla työmaalla tehtävää kytkentäohjelmaa.

Jo aiemmin oli todettu, kuinka kojeiston katkaisija avattiin ja erotettiin. Jos kojeistoa käytettiin työmaadoitukseen, todettiin jännitteettömyys kojeiston jännitteenilmaisimesta, jonka jälkeen suljettiin maadoituskytkin.

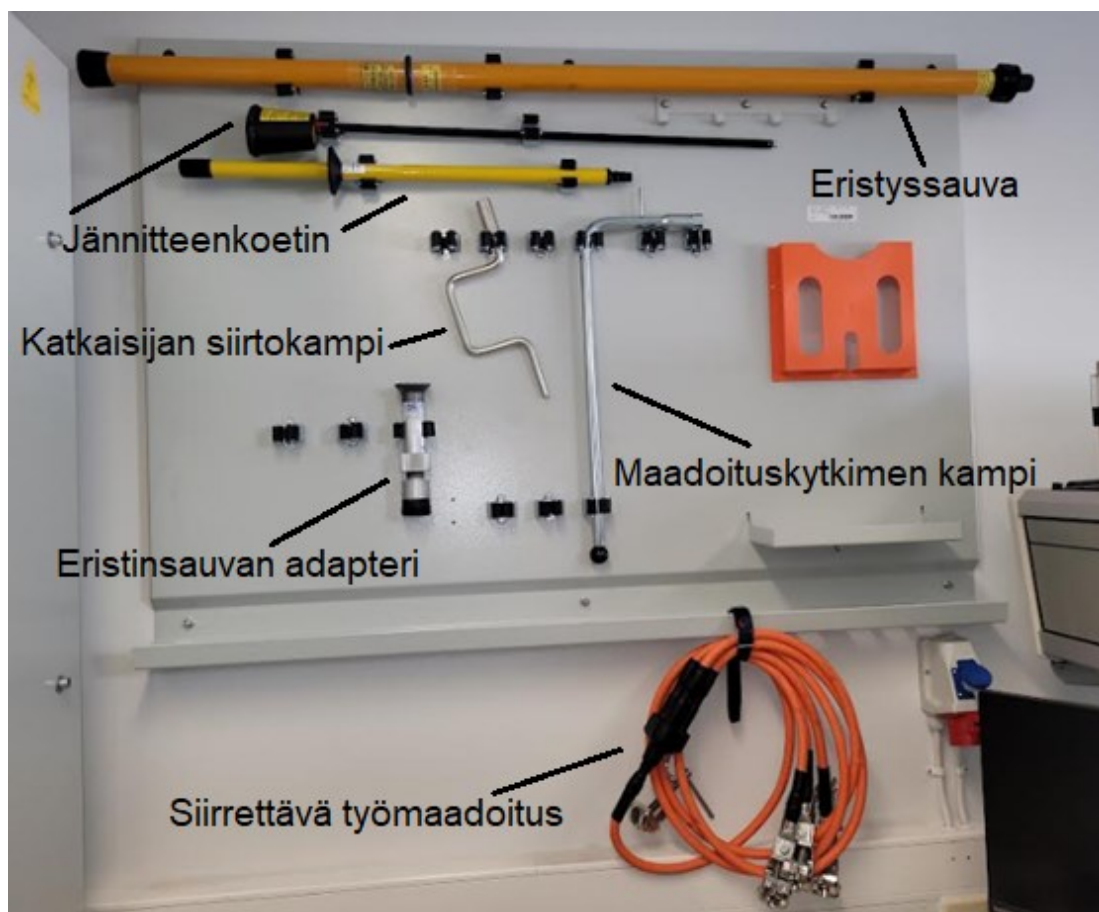
Maadoituskytkin suljettiin manuaalisesti erillisen valmistajan toimittaman kammen avulla. Kampea käännettiin puoli kierrosta ja hyvä tapa oli aloittaa kääntäminen asettamalla kampi ylöspäin ja vääntämällä alaspäin kojeiston kyljessä olevan ohjekilven mukaisesti.

Kun maadoituskytkin oli saatu kiinni, lukittiin kojeiston ulkoiset kohteet vielä erikseen turvalukoilla. Opetuskojeistoon pystytettiin kytkemään yhteensä kuusi turvalukkoa. Lisäksi kojeistoon olisi asetettu varoituskilpi, jos sellainen olisi ollut tarjolla.

Maadoituskytkimen sulkemisen jälkeen harjoiteltiin siirrettävän työmaadoituksen kytkeminen avaamalla kojeiston alaluukku. Laboratorioon hankittiin oikea jännitteenkoetin, joka ei tosin kyennyt indikoimaan pienjännitettä. Koettimen valoista kuitenkin nähtiin, ettei hälytystä syntynyt eli vihreä vilkkuva valo ei muuttunut punaiseksi mittauksen yhteydessä. Jännitteenkoettimen toimivuus olisi pitänyt testata ennen varsinaista jännitteettömyyden toteamista, mutta tähän ei ollut saatavilla oikeaa keskijännitelähdettä.

Lähtötilan kiskoihin oli asennettu pallotapit, joihin siirrettävä työmaadoitus kytkettiin. Luonnollisesti hankittiin myös siirrettävä kolmivaiheinen työmaadoitus sekä eristinsauva adapterin kera, jonka avulla työmaadoitus asennettiin paikalleen.

Työmaadoituksen asentamisessa tuli kiinnittää huomio siihen, että asennussauvaa käsiteltiin oikea oppisesti mm. pitämällä siitä kiinni ainoastaan siihen tarkoitettu osasta. Työmaadoitus suoritettiin tietyssä järjestyksessä eli ensin kiinnitettiin maadoitusliitin käsin ja sen jälkeen jokainen vaihe erikseen pallotappeihin eristyssauvan avulla.



Kuva 23. Opetuskojeiston erikoistyökalut, siirtokampi tai kiertokampi.

5.5 Kojeisto opetuskäytössä

Pian kojeiston valmistumisen jälkeen laadittiin ensimmäiset harjoitukset, joissa opetuskojeistoa päästiin perehdyttämään opiskelijoille. Tämä koulutus oli suunnattu tekniikan alan opiskelijoille yleisesti eikä pelkästään sähkövoimatekniikan opiskelijoille.

Koulutus on jatkuvaa kehitystyötä ja jostakin oli lähdettävä liikkeelle. Toteutettuja harjoituksia kehitettiin myöhemmin onnistuneiksi. Tarkoitus ei ollut kuitenkaan tuottaa täydellistä koulutuspakettia, sillä opetusmateriaalit ja itse opetus kehittyvät vuosien saatossa. (Pedagoginen... 2022.) Liitteestä 5 löytyy opiskelijoiden tehtävälomake harjoituksiin.

6 YHTEENVETO

Opinnäytetyössä esiteltiin keskijännitekojeistojen laitteita, tosin lähinnä opetuskojeiston näkökulmasta. Työssä tuotiin esiin sähkötyöturvallisuutta, jossa

painopiste oli sähköverkon jännitteettömäksi saattamisessa. Yli vuoden käytämättömänä ollut UniGear ZS1 -opetuskojeisto sähköistettiin ja valmisteltiin opetuskäyttöön. Tämän projektin yhteyteen tehty tutkimustyön tarkoitus oli koota yhteen oleelliset aiheeseen liittyvät asiat, ettei niitä tarvitsisi etsiä useista lähteistä.

Luvuissa kaksi ja kolme käytiin läpi aiheeseen liittyvään teoriaa kirjallisen tutkimuksen muodossa. Luvun neljä alussa perehdyttiin vielä itse opetuskojeistoon liittyvään tietoon, mutta sen jälkeen työn loppuosa oli suurelta osin produktiivisen osion raportointia, jonka perustana olivat tehdyt työt sekä laitteiden ohjeistukset ja manuaalit.

Tämä opinnäytetyön oli tarkoitus toimia tietolähteenä opetuskojeiston harjoituksissa ja pohjana kojeiston jatkokehittämisessä. Lyhyen tähtäimen esimerkkinä voitaisiin perehtyä tarkemmin suojaraleen vika/vuotojännitteen ja virran parametrintiin ja näiden käyttöön. Opetuskojeiston automatisointi ja laajentaminen sekä akuston liittäminen olivat esimerkkejä jatkokehityksen mahdollisuuksista. Näiden myötä tätä harjoitusalustaa ja siihen liittyvää opetusta pystytään kehittämään tulevaisuudessa.

LÄHTEET

ABB lyhyesti. a.s. ABB Oy. WWW-dokumentti. Saatavissa:

<https://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti> [viitattu: 17.5.2024].

Blåfield, P. s.a. Valokaareilta suojautuminen. Sonepar Oy. WWW-dokumentti.

Saatavissa: <https://ideat.sonepar.fi/valokaareilta-suojautuminen/> [viitattu:

20.5.2024].

Collaborative Operations for electrical systems – CLOSER. s.a. ABB Oy.

WWW-dokumentti. Saatavissa: [https://new.abb.com/medium-voltage/ser-](https://new.abb.com/medium-voltage/service/technical-support-and-repairs/closer)

[vice/technical-support-and-repairs/closer](https://new.abb.com/medium-voltage/service/technical-support-and-repairs/closer) [viitattu: 24.5.2024].

Comet BS-I | Comet BS-A Voltage detector with self-test, voltage range selec-

tor. s.a. Dipl.-Ing. H. Horstmann GmbH. WWW-dokumentti. Saatavissa:

<https://www.horstmannqmbh.com/en/products/voltage-detectors/voltage-de->

[tectors/comet-bs-i/bs-a](https://www.horstmannqmbh.com/en/products/voltage-detectors/voltage-detectors/comet-bs-i/bs-a) [viitattu: 27.5.2024].

Elovaara, J. & Haarla L. 2011a. Sähköverkot I. Järjestelmätekniikka ja sähköverkon laskenta. 2. Painos. Helsinki: Gaudeamus

Elovaara, J. & Haarla, L. 2011b. Sähköverkot II. Verkon suunnittelu, järjestelmät ja laitteet. 1. Painos. Helsinki: Gaudeamus

Elovaara, J. & Laiho, Y. 1988. Sähkölaitostekniikan perusteet. 4. Painos. Helsinki: Valopaino Oy

Huotari, K. & Partanen, J. 1998. Teollisuusverkkojen oikosulkuvirtojen laskeaminen. Lappeenranta: Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu. E-kirja. Saatavissa: https://www.uotila.cc/images/teollisuusverkkojen_oikosulkuvirrat.pdf [viitattu: 17.5.2024].

IEC indoor earthing switch EK6. s.a. ABB Oy. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://new.abb.com/medium-voltage/apparatus/isolators-switches-disconnectors/indoor-switches/earthing-switches/iec-indoor-earthing-switch-ek6> [viitattu: 19.5.2024].

IEC indoor earthing switch OJWN. s.a. ABB Oy. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://new.abb.com/medium-voltage/apparatus/isolators-switches-disconnectors/indoor-switches/earthing-switches/iec-indoor-earthing-switch-ojwn> [viitattu: 27.5.2024].

Jaakkola, J. 2010. Erään keskijännitekojeiston luokituksen muuttaminen. Meriluokitusvaatimukset standardeissa ja ohjeissa. Vaasan Yliopisto. Teknillinen tiedekunta. Diplomityö. Saatavissa: https://osuva.uwasa.fi/bitstream/handle/10024/987/osuva_4149.pdf?sequence=1&isAllowed=y [viitattu: 22.5.2024].

Kadlec, D. 2022. 12 kV Switchgear Type UniGear ZS1. Piirikaavio. Brno: ABB Oy.

Lundqvist, B. s.a. 100 years of relay protection, the Swedish ABB relay history. ABB Automation Products. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://library.e.abb.com/public/c1256d32004634bac1256e19006fd705/PAPER_2001_08_en_100_Years_of_Relay_Protection_the_Swedish_ABB_Relay_History.pdf [viitattu: 16.5.2024].

Voltage display systems KUVIN. s.a. KUVAG GmbH & Co KG. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://kuvag.com/en/products-solutions/medium-voltage/voltage-display-systems-kuvin/> [viitattu: 24.5.2024].

Pedagoginen kehitysohjelma 2022–2024. 2022. Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu Oy. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.xamk.fi/koulutus/pedagoginen-kehittamisohjelma-2022-2024/#/0> [viitattu: 26.5.2024].

Protection and Control IED Manager PCM600 Getting Started Guide. 2022. ABB Oy. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=1MRS757866&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch> [viitattu: 22.5.2024].

REA relay. 2002. Operator's manual. ABB Oy. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://library.e.abb.com/public/c65bc95f56616e83c1257b0c00560d81/rea101_operend.pdf [viitattu: 21.5.2024].

Relion® Protection and Control 630 series. 2022. Technical Manual. ABB Oy. PDF-dokumentti. Päivitetty: 20.4.2022. Saatavissa: <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=1MRS756508&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch> [viitattu: 21.5.2024].

SFS 6001. 2018. Suurjänniteasennukset

SFS 6002. 2018. Sähkötyöturvallisuus

SFS-EN 81346-2. 2022. Teollisuuden järjestelmät, asennukset ja laitteet sekä teollisuustuotteet. Jäsentelyn periaatteet ja viitetunnukset. Osa 2: Kohteiden luokittelu ja luokkia vastaavat koodit.

SFS-EN IEC 61869-3:en. 2016. Instrument transformers - Part 3: Additional requirements for inductive voltage transformers.

SFS-EN IEC 62271-200:2021:en. 2021. High-voltage switchgear and controlgear - Part 200: AC metal-enclosed switchgear and controlgear for rated voltages above 1 kV and up to and including 52 kV.

TTT-käsikirja 2000-07. 2003. Luku 7: Oikosulkusuojaus. ABB Oy. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://heikkilaakso.com/opetus/abb/076_0007.pdf [viitattu: 18.5.2024].

TTT-käsikirja 2000-07. 2003. Luku 10: Mittaus-, ohjaus- ja suojauslaitteistot. ABB Oy. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://heikkilaakso.com/opetus/abb/106_0007.pdf [viitattu: 20.5.2024].

TTT-käsikirja 2000–07. 2003. Luku 13: Sähköasemat, kojeistot ja muuntajat. ABB Oy. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://heikkilaakso.com/opetus/abb/130_0007.pdf [viitattu: 20.5.2024].

UniGear ZS1 Medium-voltage air-insulated switchgear up to 24 kV. 2021. ABB Oy. PDF-dokumentti. Päivitetty: 17.11.2023. Saatavissa: <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=1VCP000138&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch> [viitattu: 18.5.2024].

UniGear ZS1 Medium voltage, arc-proof, air insulated switchgear up to 24 kV insulated voltage. s.a. ABB Oy. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://library.e.abb.com/public/0863c56209c44bb69e565b15f7448b31/Catalogue%20UG%20ZS1_RevF_2013_12_en.pdf [viitattu: 28.5.2024].

Vcb trip alarm (vacuum circuit breaker) | eto troubleshooting. 2020. Leckyjake. Youtube. Videoleike. Julkaistu 13.11.2020. Saatavissa: <https://youtu.be/aT-jPbecAzYc?t=150> [viitattu: 22.5.2024].

VD4. 2023. Medium voltage vacuum circuit breakers 12...40.5 kV - 630...4000 A - 16...63 kA. ABB Oy. PDF-dokumentti. Päivitetty: 9.11.2023. [viitattu: 29.5.2024].

ABB		ServIS
SWITCHGEAR TYPE	UniGear ZS1	
INSTRUCTION BOOK REFERENCE NO.	1VLM000363	
YEAR OF MANUFACTURE	2022	
APPLICABLE STANDARD	IEC 62271-200	
SWITCHGEAR REFERENCE NO.		
PANEL SERIAL NO.		
PANEL POSITION	001	
PANEL DESIGNATION	A01	
RATED VOLTAGE	Ur (kV)	12
SERVICE VOLTAGE	Us (kV)	11
RATED FREQUENCY	fr (Hz)	50
RATED PANEL NORMAL CURRENT	Ir (A)	50
RATED BUSBAR NORMAL CURRENT	Irbb (A)	630
PANEL DESIGN FOR MAX. CURRENT	I _{rmax} (A)	630
RATED POWER FREQUENCY WITHSTAND VOLTAGE AT ALTITUDE ≤ 1000m	Ud (kV)	28,0
RATED LIGHTNING IMPULSE WITHSTAND VOLTAGE AT ALTITUDE ≤ 1000m	Up (kV)	75,0
RATED PEAK WITHSTAND CURRENT	Ip (kA)	40
RATED SHORT -TIME WITHSTAND CURRENT	I _k (kA)	16
RATED DURATION OF SHORT CIRCUIT	tk (s)	1
RATED SHORT -TIME WITHSTAND CURRENT OF CTs	I _k (kA)/tk(s)	16kA / 1s
RATED PEAK WITHSTAND CURRENT FOR EARTHING CIRCUITS	I _{pe} (kA)	40
RATED SHORT -TIME WITHSTAND CURRENT FOR EARTHING CIRCUITS	I _{ke} (kA)	16
RATED DURATION OF SHORT CIRCUIT FOR EARTHING CIRCUIT	t _{ke} (s)	0,2
RATED POWER-FREQUENCY CABLE TEST VOLTAGE, max.duration 1min	U _{ct(ac)} (kV)	22,4
RATED DC CABLE TEST VOLTAGE, max.duration 15min	U _{ct(dc)} (kV)	36
RATED AC CABLE TEST VOLTAGE APPLICABLE FOR VLF TESTING AT 0,1Hz, max.duration 60min	U _{ct} (ac-VLF) (kV _{rms})	19,2
LOSS OF SERVICE CONTINUITY CATEGORY	LSC	LSC 2B
INTERNAL ARC CLASSIFICATION	IAC	AFLR
INTERNAL ARC FAULT CURRENT	I _A (kA)	16
INTERNAL ARC FAULT DURATION	t _A (s)	0,2
RATED VOLTAGE OF AUXILIARY CIRCUIT	U _a (V)	AC 230V, DC 24V, 110V
DEGREE OF PROTECTION	IP	IP4X
ALTITUDE	H (m)	1000
RATED POWER FREQUENCY WITHSTAND VOLTAGE AT ALTITUDE	Ud (kV)	-
RATED LIGHTNING IMPULSE WITHSTAND VOLTAGE AT ALTITUDE	Up (kV) *	-


(*) with surge arresters

INTERNAL ARC FAULT DURATION 1) IAC LIMITATION ON ADDITIONAL RATING PLATE

Made by ABB, Czech Republic


Kuva 24. Opetuskojeiston tyyppikilpi






ABB

Scan for more 

CIRCUIT-BREAKER		IEC 62271-100	
VD4/P 12.06.16		CEI 17-1	
CLASSIFICATION	M2		
SN	1VC1CC00022837	PR.YEAR	2022
M	MASS	116	kg
Ur	VOLTAGE	12	kV
Up	LIGHTNING IMPULSE WITHSTAND VOLTAGE	75	kV
Ud	POWER FREQUENCY WITHSTAND VOLTAGE	28	kV
fr	FREQUENCY	50/60	Hz
Ir	NORMAL CURRENT	630	A
Ik	SHORT TIME WITHSTAND CURRENT	16	kA
tk	DURATION OF SHORT CIRCUIT	3	s
Isc	SHORT CIRCUIT BREAKING CURRENT	16	kA
	MAKING CAPACITY (PEAK VALUE)	40	kA
	AT THE VOLTAGE OF	12	kV
	D.C. COMPONENT	< = 30	%
Ic	CABLE-CHARGING BREAKING CURRENT	25	A
	OPERATING SEQUENCE	0-0,3S-C0-15S-C0	

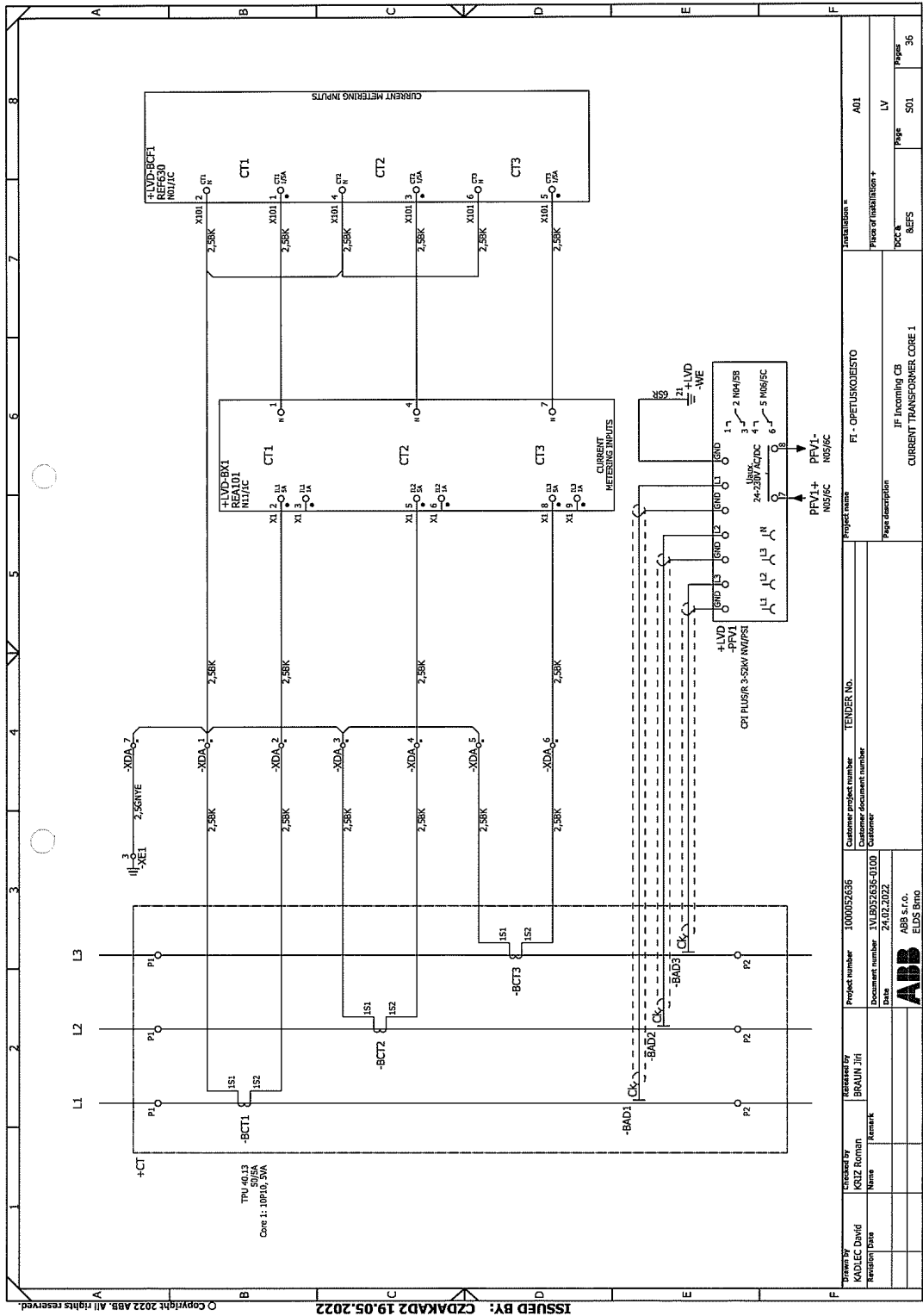
ELECTRICAL DIAGRAM 1VCD400155 (V6208)
 FIG.01 FIG.02 FIG.03 FIG.07 FIG.08
 FIG.26 FIG.32 FIG.51



EL1			OPERATING MECHANISM		
-MBC 110...127 V			-RLE1 110...127 V		
-MBO1 110...127 V			-RLE2 110 V		
			-MAS 110 V		

Made by ABB, Italy

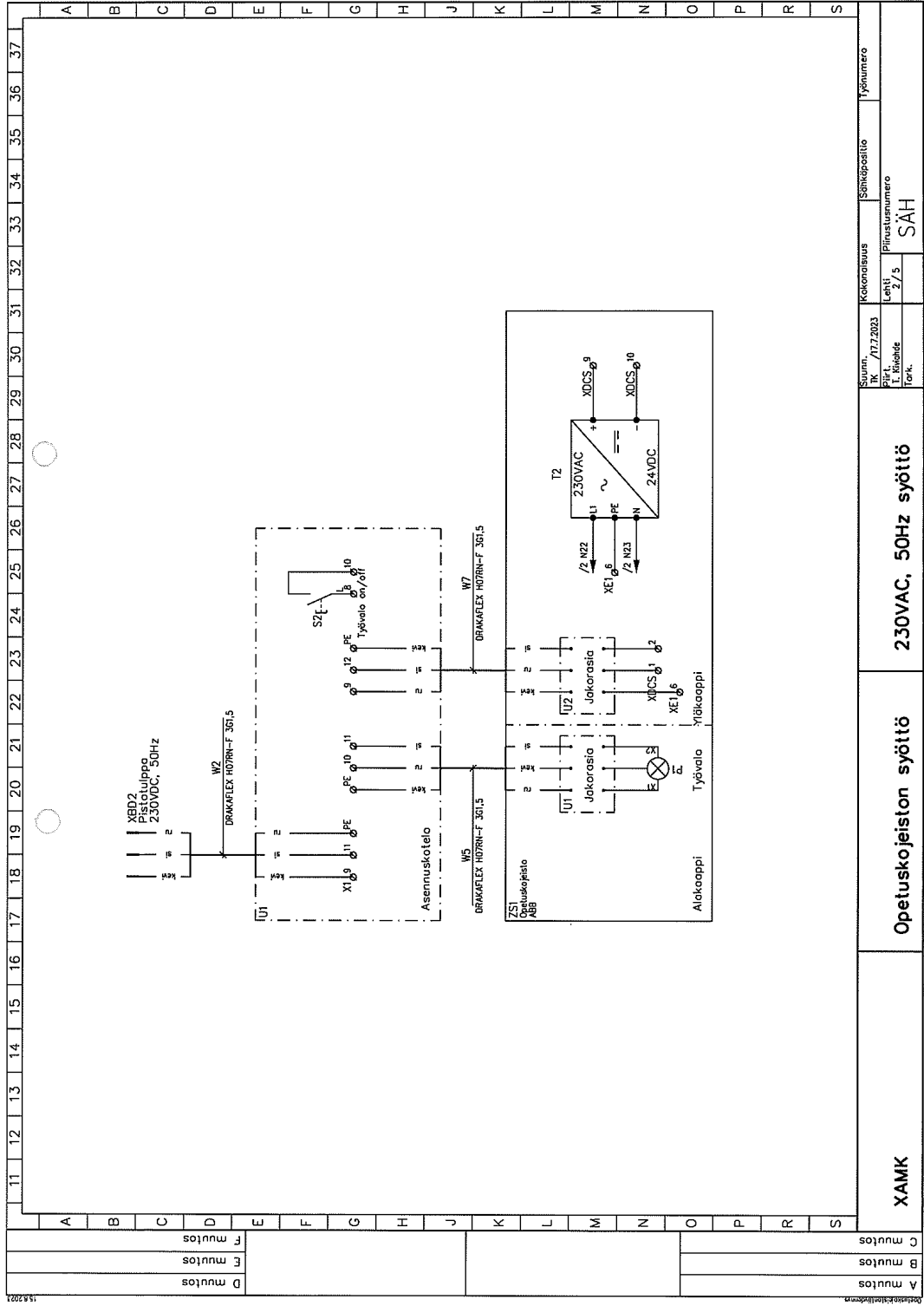
Kuva 25. Opetuskojeiston katkaisijan tyypikilpi



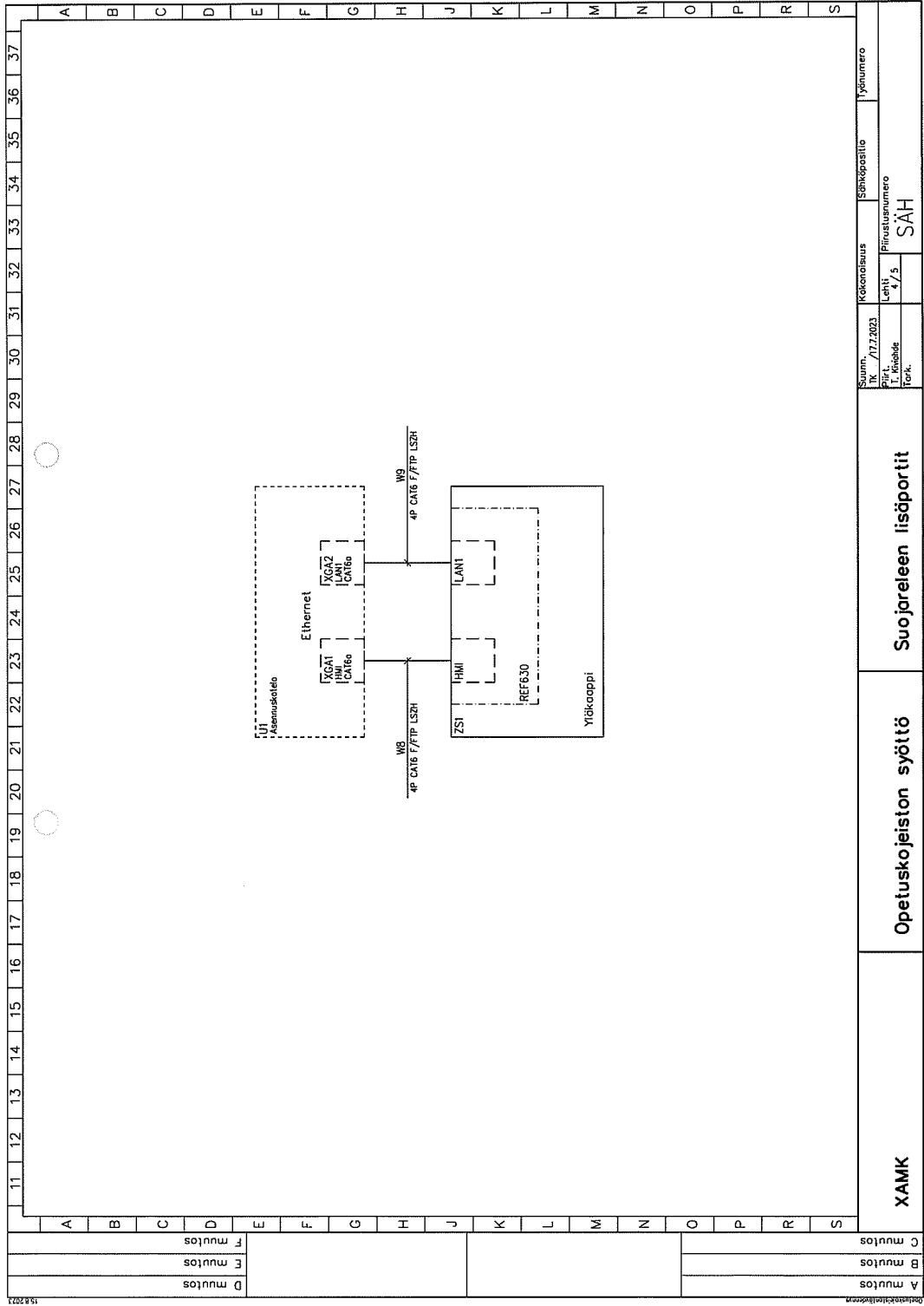
Kuva 26. Ote opetuskojeiston piirikaaviosta, valokaarisuoja ja suojaareleen liittäminen virta-
muuntajien toisiopiiriin (Kadlec 2022)

ISSUED BY: CZDAKAD2 19.05.2022

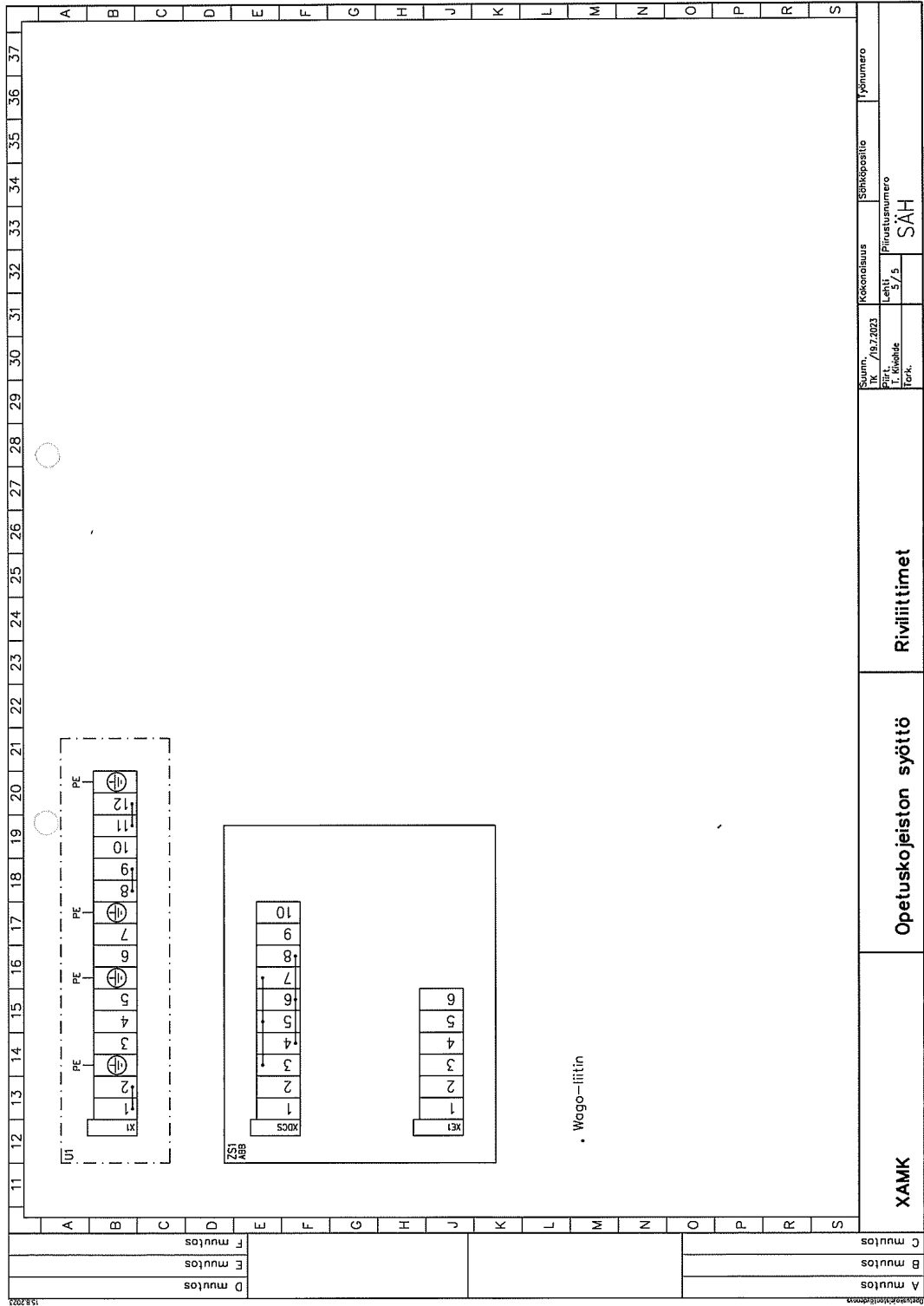
Drawn by KADLEC David	Checked by KRIZ Roman	Project number 100052656	Customer project number 100052656-0100	TENDER No.	Location = A01
Revision date	Remark	Document number 24.02.2022	Customer document number		Place of installation + LV
					DCC # 8EFS
					Page S01
					Page 36



Kuva 28. Lisäasennus osa 2



Kuva 30. Lisäasennus osa 4



Kuva 31. Lisäasennus osa 5



Yleisprehdytys opetuskojeistoon

(TK/2023)

Laatinut: Tuomas Kiviahde 1.11.2023 (Päivitetty: 8.11.2023)

1 Harjoitustyön esittely ja tavoite

Harjoitus suoritetaan rastikoulutuksena sähkölaboratoriossa. Harjoituksessa oppilasryhmä, esimerkiksi 2 opiskelijaa tekee ja vastaa kysymyksiin ohjeistuksen mukaisesti. Tehtävät on jaettu kuuteen osaan:

- 1) Keskijännitekojeiston yleisesittely
- 2) Kojeiston kytkeminen sähkölaboratoriossa
- 3) Katkaisijaan tutustuminen
- 4) Tutustuminen kojeiston operointiin ja suojausalueen toimintaan
- 5) Keskijännitekojeiston syöttö ja työmaadoitus
- 6) Valokaarisuoja

Tehtäville on varattu aikaa yksi kokonainen päivä sähkölaboratoriossa eli noin 8 tuntia. Jos keskijännitekojeistot, sähköjakelu, yms. eivät ole ennestään tuttuja, on opiskelijoiden ohjaus välttämätöntä suorituksen läpäisyyn. *Ohjaaja vastaa turvallisuudesta sähkölaboratoriossa joka tapauksessa ja myös opiskelijoiden on hyvä muistaa sähkölaboratoriossa työskentelemisen turvallisuussäännöt.* Ohjaaja vastaa kysymyksiin, neuvoo, ohjaa ja näyttää, sekä kertoo lisää oppilaiden mielenkiinnon mukaan. Ohjaaja ei ensisijaisesti ”luennoi” ja demonstroi vaan seuraa sivusta ja toimii vasta avun tarpeen tullen tai jos homma ei näytä etenevän ja lisäksi kertoo, demonstroi ja ohjaa vähän kerrallaan tietyissä tilanteissa. Koulutukseen tarvittavat välineet löytyvät sähkölaboratoriosta.

Työn tavoitteena on antaa yleistä perustietoa ja tutustuttaa opiskelijoita nykyaikaisten yleisesti käytettyjen keskijännitekojeistojen operointiin ja huoltoon sekä työmaadoitukseen. Koulutus soveltuu hyvin kaikille tekniikasta kiinnostuneille. Suojausalueen ominaisuudet ja kojeiston automaatio eivät kuulu tähän harjoitukseen, mutta ohjaaja voi kertoa niistä lyhyesti harjoituksen aikana.

2 Työskentely rastilla

Edetään ohjeistuksen mukaisesti osa kerrallaan, numerojärjestyksessä. Opiskelijat vastaavat esitettyihin kysymyksiin oman tietämyksensä ja opetusmateriaalin (itse opetuskojeiston sekä tarvikkeiden) mukaan ja voivat kysyä myös vastauksia suoraan ohjaajalta, jolloin päästään etenemään joutuisammin. Lisäksi opiskelijat voivat esittää kysymyksiä liittyviä lisäkysymyksiä, jos mielenkiintoa riittää. Kysymyksien tavoite on valottaa yleistä tietoa aiheeseen liittyen.

Tehtäviä ei kannata jäädä pohtimaan liikaa, vaan opiskelijoiden tulee kysyä, kun epäilee. Ohjaaja voi lisäksi kysyä, miten opiskelijoilla sujuu. Osa tehtävistä vaatii ohjaajan demonstroitua ja ohjausta. Ohjaajan kannattaa myös tiedustella, jos oppilaat haluavat



Yleisprehdytys opetuskojeistoon

(TK/2023)

lisätietoa joihinkin asioihin tai yksityiskohtiin yms. Tehtävien tavoitteena on opettaa aiheeseen liittyviä asioita käytännön kautta, huomioiden opetusmahdollisuuksien rajallisuus. Tehtäviä tehdessä on hyvä kiinnittää huomiota, *mitä eri tilanteissa tapahtuu*.

Jos vaikuttaa siltä, että *harjoitukseen ei ole varattu tarpeeksi aikaa*, voidaan kaikki kysymyskohdat jättää välistä ja keskittyä vain tehtäviin. Oppilaat voivat miettiä ja täyttää kysymyksiä jälkeenpäinkin.

2-1 Osa 1. Keskijännitekojeisto yleisesti

Tässä työssä otetaan esiin joitakin yleisiä keskijännitekojeistolle tyypillisiä asioita. Mitä kojeistosta voidaan tarkistaa, kun sellaisen sattuu näkemään.

Kysymyksiä:

- 1) Osallistujat? _____

- 2) Opetuskojeiston valmistaja? _____
- 3) Tuotenimi? _____
- 4) Moduulin malli? _____
- 5) Nimellisjännite? _____
- 6) Nimellisvirta? _____
- 7) Mitä tarkoitetaan *moduulilla* keskijännitekojeistojen yhteydessä?

- 8) Mikä tehtävä opetuskojeistolla olisi **osana keskijännitekojeistoa** sähkönjakelussa?



Yleisprehdytys opetuskojeistoon

(TK/2023)

Tehtäviä:

- 1) Ottakaa *tarvittavat työ- ja suojavälineet valmiiksi*. Suojavälineitä suositellaan *opetustarkoituksessa käytettäväksi* varsinkin laitetta käyttävälle opiskelijalle. Korvatulppia suositellaan kaikille *varsinkin katkaisijaosiossa* (osa 4.).
 - Kypärä visiirillä tai suojalasit
 - Käsineet (ohuet työhanskat)
 - Kuulosuojaimet (korvatulpat)
 - **Maadoituskytkimen kampi**
 - **Opetuskojeiston katkaisijan erotin- eli rullauskampi**

2-2 Osa 2. Kojeston kytkeminen sähkölaboratoriossa

Opetuskojeisto seiso pitkään seinäkoristeena eikä sitä voitu hyödyntää juuri lainkaan opetustarkoituksiin, koska siihen ei voitu kytkeä helposti sähköjä. Nyt siihen kuitenkin on tehty *kytkentäkotelo*, ottaen huomioon sähkölaboratorion olosuhteet. Tässä työssä opetuskojeistoon kytketään sähköt. Oletuksena opetuskojeiston katkaisija on *testiasennossa* ja *maadoituskytkin on kiinni*. Käytössä osan 1. mukainen varustus.

Kysymyksiä:

- 1) Millaista sähköä opetuskojeistoon voidaan kytkeä ja mitä varten? (Neljä asiaa).

Tehtäviä:

- 1) Avataan maadoituskytkin, jos se on kiinni.
- 2) Kytketään apusähkö (230Vac ja 110 Vdc). (Suojarele herjaa, jos johdot ovat väärin päin, eli huomioidaan tasajännitteessä plus ja miinusnavat.)
- 3) Rullataan katkaisija valmiusasentoon, jos se on testiasennossa.

2-3 Osa 3. Katkaisijaan tutustuminen

Oletuksena on, että katkaisija *kiinni* ja *valmiusasennossa*. *Apusähköt on kytketty* ja edellä mainitut työvälineet ja suojatarvikkeet ovat saatavilla. Kuormitusta ei tarvita. Tässä työssä tutustaan opetuskojeiston katkaisijaan ja käydään läpi joitakin sen huoltoon liittyviä asioita.

Tässä työssä käytetään myös katkaisijan *jatkoapelia*.

Tehtäviä:

- 1) Varmistetaan, että apusähköt on kytketty, katkaisija on valmiusasennossa ja kiinni.
- 2) Huomioidaan, että seuraavaa kohtaa *varten* voidaan tilanteesta ja kohteesta riippuen tarvita valokaari- ja jännitesuojavarusteet. Nyt niitä ei ole kuitenkaan tarpeellista pukea.
- 3) Avataan katkaisija käyttäen *manuaalista OFF-laukaisumekanismia* (keskiluukulta).
- 4) Rullataan katkaisija testiasentoon.
- 5) Avataan katkaisijan luukku. **Tässä vaiheessa erityisesti suositellaan korvatulppien käyttöä.**
- 6) Suljetaan ja avataan katkaisija normaalisti.
- 7) Avataan moottorinvirityspiirin johdonsuojakatkaisija apusähkökaapista.
- 8) Suljetaan katkaisija ja avataan katkaisija uudelleen.
- 9) Viritetään sulkemisjousi manuaalisesti kahvalla.
- 10) Kiinnitetään katkaisijan huoltokärry kiinni ja otetaan katkaisija ulos kojeistosta oikeaoppisesti.
- 11) Poistetaan katkaisijan *etukuori*.
- 12) Testataan katkaisijan ON-painiketta. **Suosittellaan ruuvimeisselin** käyttöä painaessa.
- 13) Kytetään katkaisijan jatkojohto kiinni. *Ensin katkaisijan liitin kiinni, sitten kojeiston liitin. Varmistetaan, että liittimet menevät oikein päin.* (Kolme reikää kolmiossa).
- 14) Varmistetaan, ettei kenelläkään ole sormia tai mitään ylimääräistä katkaisijan kojeistossa, ennen seuraavaa kohtaa.**
- 15) Suljetaan moottorin virityspiirin johdonsuojakatkaisija.



Yleisprehdytys opetuskojeistoon

(TK/2023)

16) Ohjaaja voi kertoa katkaisijan huollosta sähkönjakelussa, teollisuudessa ja merenkulussa. Voidaan vielä testata katkaisijan avaamista ja sulkemista.

17) Kirjataan ylös VD4 -katkaisijan kojeiston tärkeimmät komponentit.

18) Varmistetaan, että katkaisija on avattu. Avataan se tarvittaessa.

19) Irrotetaan katkaisijan jatkoakaapeli, *ensin kojeiston liitin, sitten katkaisijan liitin.*

20) Viedään katkaisija takaisin kojeistoon, *testiasentoon.*

Kysymyksiä:

1) Milloin keskijännitekojeiston katkaisija luokun ”manuaalikytkinmekanismiin” ON- ja OFF-painikkeita voidaan käyttää?

2) Mitä toimenpiteitä sähköhuoltomies tai laivasähkömies voi vialliselle katkaisijalle tehdä?



Yleiserehdytys opetuskojeistoon

(TK/2023)

2-4 Osa 4. Tutustuminen kojeiston operointiin ja suojaareen toimintaan.

Tässä työssä tutustutaan yleisesti keskijännitekojeiston operointiin. Selvitetään mitä kojeisto yleensä tekee ja mitä se tekee sähköverkon vikatilanteessa. Ja miten kojeistoa yleensä operoidaan. Oletuksena on, että apusähköt on kytketty ja opetuskojeiston voimavirtakaapeli on kytketty ja sopiva kuormitus (liesiuuni tai kiuas max. 6,8 kW) on kytketty käyttövalmiiksi. Käytössä on osan 1. mukainen varustus.

Tehtäviä:

- 1) Suljetaan *johdonsuojakatkaisija* kytkentäkotelolta. (Jos suojaarele herjaa jo nyt [RES OV TRIP] varmista, että tehonsyöttöpistoke on kunnolla kiinni ja sulakkeet sekä vikavirtasuojat ovat kiinni ja suorita ”resetointi”).
- 2) Suljetaan opetuskojeiston katkaisija.
- 3) Käytetään *liesiuunia*, laittamalla uuni päälle (n. 75–100°C) ja liedin levyt **asentoon 2**.
- 4) Tarkistetaan ja kirjataan suojaareleelta vaihevirratt ja pääjännitteet sekä teho. Lisäksi *virrat* kannattaa tarkistaa pihtimittarilla.

HMI (suojaareen) valvontanäytön ilmoittama teho (P): _____

L1 (Pääjännite suojaareleelta), U_{hmi} , (Pääjännite käsimittarilta) U_{pihti} , (Virta, suojaarele) I_{hmi} ja (Virta, käsimittaus) I_{pihti}

L2 (U_p , I_{hmi} ja I_{pihti}) _____

L3 (U_p , I_{hmi} ja I_{pihti}) _____

- 5) Pienennetään jännitettä säätömuuntajalta, kunnes suojaarele laukaisee.
- 6) Tarkistetaan suojaareleelta *vikailmoitus* ja mikä *LED-valo* (sivu ja nro.) sen ilmoitti.
- 7) Kirjataan edellisen kohdasta tarkistetut tiedot.

- _____
- 8) Suurennetaan jännite takaisin normaaliksi.



Yleisprehdytys opetuskojeistoon

(TK/2023)

- 9) Suljetaan liesilevyt ja uuni. (Tämä on tehtävä nyt, jotta vältetään ylimääräisiltä trippauksilta.)
- 10) Poistetaan hälytykset ja avataan lukitukset suojarieleltä. (Tarvitaan [Engineer] -käyttäjä).
- 11) Suljetaan katkaisija uudestaan.
- 12) Laitetaan uuni jälleen päälle ja avataan liesilevyt asentoon 2. (Huomaa, että jos uuni on lämmennyt, siihen ei tule enää virtaa. Voidaan lisätä lämpöä, jos näin käy.)
- 13) Avataan ja suljetaan asennuskotelon johdonsuojakatkaisija parikertaa. Vaihtoehtoisesti irrotetaan voimansyöttöjohto ja kytketään se uudelleen. Yritetään useamman kerran, jos ei heti trippaa.
- 14) Suljetaan uuni ja liesilevyt.
- 15) Jos suolarele laukaisi, tarkistetaan *vikailmoitus* ja kirjataan se sekä vastaava *LED-valo* (sivu ja nro.) ylös.
-
- 16) Poistetaan vikailmoitus ja lukitukset jälleen suojarieleltä.
- 17) Avataan **johdonsuojakatkaisija**.
- 18) Irrotetaan tehonsyöttö kaapeli ja puretaan kuormituksen johdot pois.

Kysymyksiä:

- 1) Minkä tyyppinen suojariele opetuskojeistossa on? _____
- 2) Mikä valmistaja ja malli? _____
- 3) Miksi virrat kannattaa mitata myös pihtimittarilla? _____
-



Yleisperehdytys opetuskojeistoon

(TK/2023)

- 4) Miksi sähkölaboratorion siirrettäviä 9 kW kiukaita ei kannata käyttää tässä harjoituksessa?

2-5 Osa 5. Keskijännitekojeiston syöttö ja työmaadoitus

Oletuksena katkaisija on testiasennossa. Maadoituskytkin on kiinni. Apusähköt on kytketty. Kuormitusta ei ole kytketty. Tässä työssä tutustutaan opetuskojeiston alaosaan, jonka kautta kojeistoon saadaan vedettyä sähköä. Lisäksi opetellaan siirrettävän työmaadoituksen käyttöä.

Työssä tarvitaan edellä mainittujen työ- ja suojavälineiden lisäksi seuraavaa:

- Suojahaalari
- Jännitetyökäsineet
- Kypärä visiirillä
- Turvalukkoja
- Siirrettävä työmaadoitus
- Eristyssauva, siirrettävän työmaadoituksen kiinnitysosalla varustettuna.
- Jännitteenkoetin
- Jännitetyöhön soveltuvat turvajalkineet, jos löytyy.

Tehtäviä osa 1:

- 1) Suljetaan maadoituskytkin, jos sitä ei vielä ole suljettu.
- 2) Avataan opetuskojeiston alaluukku.
- 3) Hyödynnetään *työvalo*, painike on kytkinkotelossa.
- 4) Vastataan seuraavan osion kysymyksiin.

Kysymyksiä osa 1:

- 1) Mitä ovat kojeiston takaosassa olevat punaruskeat ”mötikät”?



Yleisperehdytys opetuskojeistoon

(TK/2023)

- 4) Miksi sähkölaboratorion siirrettäviä 9 kW kiukaita ei kannata käyttää tässä harjoituksessa?

2-5 Osa 5. Keskijännitekojeiston syöttö ja työmaadoitus

Oletuksena katkaisija on testiasennossa. Maadoituskytkin on kiinni. Apusähköt on kytketty. Kuormitusta ei ole kytketty. Tässä työssä tutustutaan opetuskojeiston alaosaan, jonka kautta kojeistoon saadaan vedettyä sähköä. Lisäksi opetellaan siirrettävän työmaadoituksen käyttöä.

Työssä tarvitaan edellä mainittujen työ- ja suojavälineiden lisäksi seuraavaa:

- Suojahaalari
- Jännitetyökäsineet
- Kypärä visiirillä
- Turvalukkoja
- Siirrettävä työmaadoitus
- Eristyssauva, siirrettävän työmaadoituksen kiinnitysosalla varustettuna.
- Jännitteenkoetin
- Jännitetyöhön soveltuvat turvajalkineet, jos löytyy.

Tehtäviä osa 1:

- 1) Suljetaan maadoituskytkin, jos sitä ei vielä ole suljettu.
- 2) Avataan opetuskojeiston alaluukku.
- 3) Hyödynnetään *työvalo*, painike on kytkinkotelossa.
- 4) Vastataan seuraavan osion kysymyksiin.

Kysymyksiä osa 1:

- 1) Mitä ovat kojeiston takaosassa olevat punaruskeat ”mötikät”?



Yleisperehdytys opetuskojeistoon

(TK/2023)

- 2) Mitä huomioita teette kojeiston kiskostoon kiinnitetyistä *kaapeleista*?

- 3) Mikä tarkoitus on kiskoihin etummaisiksi kiinnitetyillä pallotapeilla?

- 4) Tarvitaanko niitä, jos opetuskojeisto olisi käytössä sähköjaketussa? Entä aluksilla?

Tehtäviä osa 2:

- 1) Joku oppilaista pukeutuu valokaarisuojavarusteisiin (ja suorittaa työmaadoituksen).
- 2) Suoritetaan jännitteettömyyden toteaminen, käyttäen *jännitekoetinta*.
- 3) Kiinnitetään siirrettävä työmaadoitus käyttäen *eristyssauvaa* oikeaoppisesti.
- 4) Suljetaan luukut. (Siirrettävä työmaadoituskaapeli jää luukun sisään.)
- 5) Kiinnitetään turvalukot. (kuusi kappaletta).
- 6) Poistetaan lukitukset.
- 7) Avataan alaluukku.
- 8) Todetaan jännitteettömyys jännitteenkoettimella.



Yleisperehdytys opetuskojeistoon

(TK/2023)

- 9) Poistetaan työmaadoitus eristinsauvaa käyttäen.
- 10) Palautetaan tilanne takaisin kuten se oli tehtävän alussa.

Kysymyksiä osa 2:

- 1) Milloin ja mihin työmaadoituksia tehdään ja miksi?

- 2) Montako turvalukkoa opetuskojeistoon voidaan laittaa maksimissaan? _____

2-6 Osa 6. Valokaarisuoja

Tässä työssä tutustutaan hyvin lyhyesti valokaarisuojaan ja sen huoltoon. Lisäksi testataan sen toiminta opetuskojeistossa. Työssä käytetään osan 1. mukaisia varusteita ja oletuksena on, että katkaisija on *testiasennossa* ja apusähköt on kytketty. Maadoituskytkin on kiinni ja kuormitusta ei ole kytketty.

Työssä käytetään myös valokaarisuojan testauslaitetta eli *salamavaloa*.

Tehtäviä:

- 1) Suljetaan maadoitus kytkin, jos se ei ollut suljettuna.
- 2) Avataan alaluukku.
- 3) Testataan salamavalon toiminta ja asetetaan se valmiuteen (*manuaaliasetus, maximi teho, osoittaa kohti valokuitua*), *kaukolaukaisin kojeiston ulkopuolella. Kaukolaukaisin kiinni, OFF-asentoon.*



Yleisprehdytys opetuskojeistoon

(TK/2023)

- 4) Suljetaan alaluukku ja avataan maadoituskytkin.
- 5) Avataan apusähkötila ja otetaan esiin valokaarisuojan avain.
- 6) Käännetään valokaarisuojan mittaus testiasentoon.
- 7) Testataan valokaarisuojan toiminta irrottamalla *toinen valokuidun liitin* ja osoittamalla apusähkötilan työvaloa kohti.
- 8) Laitetaan liitin takaisin paikoilleen ja ”resetoidaan” valokaarisuoja.
- 9) Huomataan, että myös apusähkötilan ovea vasten on (samalla periaatteella toimivat) optiset anturit.
- 10) Rullataan katkaisija valmiusasentoon ja **suljetaan** se.
- 11) *Salamavalon kaukolaukaisin* päälle, ON-asentoon. Testataan valokaaren simulointi.
- 12) ”Resetoidaan” valokaarisuoja ja suoja-arele.
- 13) Palautetaan katkaisija takaisin testiasentoon.
- 14) Suljetaan maadoituskytkin.
- 15) Sammutetaan apusähköt ja puretaan kytkennät.

Kysymyksiä:

- 1) Mikä on valokaarisuojan valmistaja ja malli? _____
- 2) Mitkä ovat valokaarisuojan kaksi ”moodia”? _____
- 3) Miksi näistä vain toista voidaan käyttää testauksessa? _____

- 4) Milloin valokaarisuoja voisi laukaista ”vahingossa”, kun testimoodi on jäänyt päälle, olettaen että normaalisti tavalliset ja edes melko kirkkaatkaan lamput eivät riitä laukaistamaan valokaari suojaa?

