

Jarkko Ylitalo

KATKAISIJOIDEN KUNNOSSAPITO CBA 3000 -KATKAISIJA-
ANALYSAATTORILLA

Sähkötekniikan koulutusohjelma
2017

Katkaisijoiden kunnossapito CBA 3000 -katkaisija-analysaattorilla

Ylitalo, Jarkko
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Sähkötekniikan koulutusohjelma
Huhtikuu 2017
Ohjaaja: Nieminen, Esko
Sivumäärä: 40
Liitteitä: 10

Asiasanat: suurjännite, katkaisija, katkaisija-analysaattori, kunnossapitomittaus

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin, miten suurjännitekatkaisijoille yleisimmin tehdyt kunnossapitomittaukset toteutetaan Empower PN Oy:lle hankitulla CBA 3000 -katkaisija-analysaattorilla. Kyseiselle katkaisija-analysaattorille tuotettiin käyttöopas helpottamaan laitteen käyttöönottoa.

Opinnäytetyössä käytiin ensin läpi eri katkaisijatyypit sekä niille yleisimmin suoritettut kunnossapitomittaukset. Tämän jälkeen esiteltiin katkaisija-analysaattoria ja suoritettiin kunnossapitomittaukset 20 kilovoltin katkaisijalle.

Opinnäytetyön tuloksena tuotetun käyttöoppaan avulla katkaisija-analysaattorin perehtymiseen sekä kunnossapitomittausten suorittamiseen kuluva aika saadaan pienennettyä. Tutkimuksen tuloksena voidaan todeta, että mittalaite helpottaa kunnossapitomittausten suorittamista sekä vähentää työmaalla tarvittavien eri mittalaitteiden määrää.

Maintenance of circuit breakers with a CBA 3000 circuit breaker analyzer

Ylitalo, Jarkko

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Electrical Engineering

April 2017

Supervisor: Nieminen, Esko

Number of pages: 40

Appendices: 10

Keywords: high voltage, circuit breaker, analyzer, maintenance measurement

In this thesis, it was studied how the most common maintenance measurements for high voltage circuit breakers are carried out with a CBA 3000 circuit breaker analyzer acquired by Empower PN Oy. A user's guidebook was made for the circuit breaker analyzer in question to ease the deployment of the device.

The different types of circuit breakers and the most common maintenance measurements were first covered in the thesis. After this, the circuit breaker analyzer was introduced in general and the maintenance measurements were carried out for a 20 kV circuit breaker.

The time spent getting acquainted with the device and performing the maintenance measurements will be reduced with the help of the user's guidebook, produced as a part of this thesis. In conclusion, it can be stated that the device eases the performance of maintenance measurements and reduces the amount of different testing devices required on a worksite.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	EMPOWER OY	6
3	KATKAISIJAT	7
3.1	Paineilmakatkaisijat	10
3.2	Öljykatkaisijat	11
3.3	SF6 -katkaisijat	12
3.4	Tyhjiökatkaisijat	14
3.5	CO2 -katkaisijat	14
4	SUURJÄNNITEKATKAISIJOIDEN KUNNOSSAPITO	15
4.1	Ohjauskelojen virtamittaus	17
4.2	Katkaisijan toiminta-aikojen mittaus	18
4.3	First trip -mittaus.....	19
4.4	Liikeaikamittaus.....	20
4.5	Staattisen resistanssin mittaus.....	23
4.6	Dynaamisen resistanssin mittaus	24
4.7	Keloiden minimitoimintajännitteenmittaus	26
4.8	Moottorin kuormitusvirran mittaus.....	26
5	CBA 3000 -KATKAISIJA-ANALYSAATTORI.....	27
6	MITTAUKSET CBA 3000 -KATKAISIJA-ANALYSAATTORILLA.....	30
7	YHTEENVETO	35
8	JOHTOPÄÄTÖKSET	36
8.1	Johtopäätökset tutkimuksesta.....	36
8.2	Opinnäytetyöstä opittua	39
	LÄHTEET	40
	LIITTEET	

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä tutkitaan Empower PN Oy:lle hankittua CBA 3000 -mittalaitetta. Opinnäytetyössä tutkitaan, miten laitetta voidaan käyttää tehokkaasti sähkösemissä katkaisijoille suoritettaviin kunnossapitomittauksiin. Mittalaite hankittiin yksiköön tammikuussa 2017.

Opinnäytetyössä käsitellään erilaisia katkaisijoita sekä niiden toimintaperiaatteita. Työssä käsitellään myös yleisimpiä Suomessa katkaisijoille toteutettavia kunnossapitomittauksia.

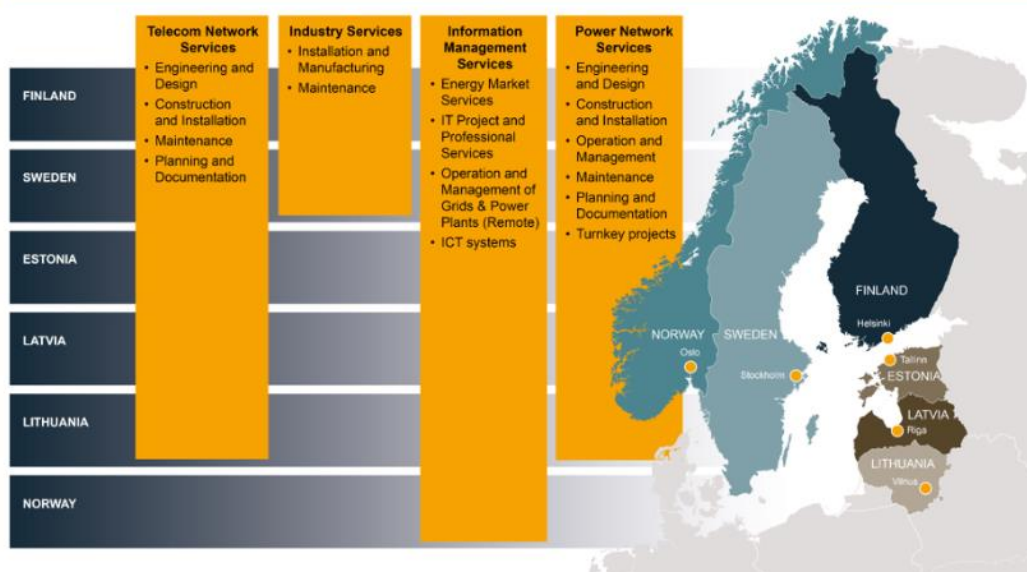
Kunnossapitomittausten havainnollistamiseksi CBA 3000 -mittalaitteella toteutettiin esimerkkimittaukset 20 kV :n katkaisijalla Harjavallassa Empower PN Oy:n tiloissa. Tehtyä mittausta, sen tehokkuutta sekä mittaustuloksia voidaan verrata aikaisemmilla mittalaitteilla suoritettuihin mittauksiin. Mittauksia vertailemalla voidaan tehdä päätelmiä hankinnan kannattavuudesta. Opinnäytetyön tuloksena saadaan myös käyttöopas mittalaitteen käyttöä varten (vain sisäiseen käyttöön).

2 EMPOWER OY

Empower :in juuret ovat vuonna 1988 perustetussa Teollisuuden Voimansiirto Oy:ssä. Se oli useamman pienemmän yrityksen hallussa oleva sähkön siirtoon, myyntiin ja hankintaan sekä siirtoverkon rakentamiseen ja kunnossapitoon erikoistunut yhtiö. Teollisuuden Voimansiirto fuusioitiin Pohjolan Voimaan vuonna 1997. Empower syntyi vuonna 1998, jolloin Pohjolan Voima eriytti palvelutoiminnot omaksi alakonsernikseen PVO-Palvelut Oy:ksi. Vuonna 1999 yhtiö nimettiin uudestaan Empower Oy:ksi. (Empower Oy:n www-sivut 2014.)

Myöhemmin Empower Oy on levittänyt liiketoimintansa Norjaan, Ruotsiin sekä Baltian maihin. Toimintaa Empower :illa on näissä maissa noin sadalla eri paikkakunnalla, työllistäen yhteensä noin 2550 palveluiden ammattilaista. Lisäksi Empower Oy tekee kiinteää yhteistyötä yli 200 liikekumppanin kanssa. Vuonna 2015 Empower uudisti konsernin juridisen rakenteen, jossa liiketoiminnot ryhmiteltiin tytäryhtiöihin, ja Empower Oyj perustettiin uudeksi emoyhtiöksi. Kuva 1 havainnollistaa Empower :in toimintaa eri maissa. (Empower Oy:n www-sivut 2014.)

Extensive Service Portfolio and Wide Geographical Coverage



Kuva 1. Empower: in liiketoiminta eri maissa. (Empower PN Oy, 3.)

Tämä opinnäytetyö on tehty Empower PN Oy :lle. Empower PN huolehtii, että kotitaloudet ja yritykset Suomessa saavat sähköä häiriöttä. Asiakkaamme rakentavat ja kunnossapitävät tuulipuistoja, sähköasemia sekä -verkoja. Empower PN Oy huolehtii verkkojen esi- ja toteuttamisselvitykset, suunnittelee toteutuksen ja ylläpitää sähköverkot ja -asemat ammattitaidolla. (Empower Oy:n www-sivut 2014.)

3 KATKAISIJAT

Katkaisija on joko automaattisesti tai käsin ohjattu laite, joka pystyy katkaisemaan jännitteisen piirin turvallisesti ja nopeasti verkon vikatilanteessa. Kaikista yleisin katkaisijatoiminto on avautuminen oikosulkuvirran tai maasulkuvirran vaikutuksesta, missä mittamuuntajan kautta kytketty rele antaa avautumiskäskyn katkaisijalle. Myös katkaisijan sulkeutuminen voi tapahtua automaattisesti erilaisten jälleenkytkentöjen vaikutuksesta. Ero katkaisijalla ja tavallisella kytkimellä on se, että katkaisija pystyy avaamaan ja sulkemaan oikosulkupiirin vaurioitumatta tilanteessa, jossa piirin virta voi olla moninkertainen mitoitusvirtaansa nähden. Kytkin pystyy katkaisemaan vain mitoitusvirtansa. Kuvassa 2 on Suomessakin yleisessä käytössä oleva 400kV:n SF₆-katkaisija. (Elovaara & Haarla, 162-165; Grigsby 1998, 5-26.)



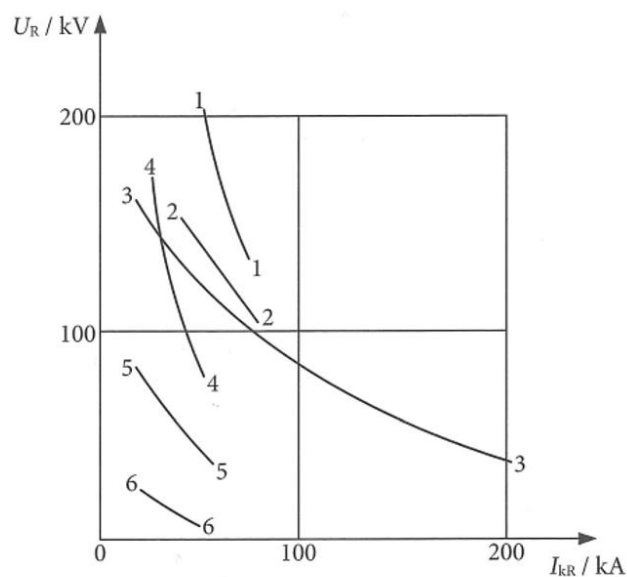
Kuva 2. Yksivaiheisesti ohjattuja, kahdella katkaisupäällä per vaihe varustettuja erottavia 400kV:n katkaisijoita (Elovaara & Haarla 2011, 187.)

Katkaisijan avautumistilanteessa sen sisällä olevat koskettimet lähtevät avautumaan. Koskettimien avautuessa sähkövirta ei katkea, vaan niiden välille muodostuu valokaari, mikä pitää sähkövirtaa yllä vielä muutaman millisekunnin. Vaihtovirtakatkaisijoissa valokaari sammutetaan virran luonnollisessa nollakohdassa. Valokaaren sammutus tapahtuu pidentämällä sitä, jakamalla sitä useaan osaan sekä jäähdyttämällä sitä erilaisilla eristävillä väliaineilla. (Aura & Tonteri 1993, 270; Elovaara & Haarla 2011, 163.)

Valokaaren sammutusväliaineena voidaan käyttää kaasua, ilmaa tai öljyä. Katkaisijat voidaan luokitella esimerkiksi sammutusväliaineen mukaan seuraaviin ryhmiin:

- Ilmakatkaisijat
- Öljykatkaisijat
- Paineilmakatkaisijat
- SF₆ –katkaisijat
- Tyhjiökatkaisijat

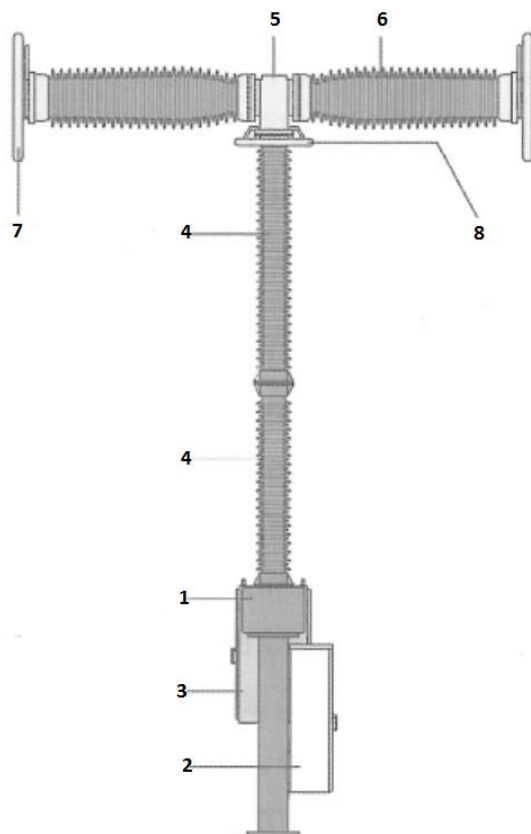
- CO₂ –katkaisijat



Katkaisijalajien tyypillisiä toiminta-alueita. U_R = mitoitusjännite, I_{kR} = katkaisukyky, 1) SF₆ (kaksipaineinen jo väistynyt tekniikka), 2) SF₆ (yksipaineinen), 3) paineilma, 4) vähäöljy (väistynyt tekniikka), 5) tyhjiö, 6) magneettipuhalluksella varustettu ilmakatkaisija.

Kuva 3. Eri katkaisijalajien tyypillisiä toiminta alueita (Elovaara & Haarla 2011, 171.)

Lisäksi katkaisijat voidaan luokitella sen perusteella, onko katkaisukammio maan (dead tank circuit breaker) vai jännitteen (live tank circuit breaker) määräämässä potentiaalissa. Suomessa on yleisesti käytössä jälkimmäinen malli, mutta esimerkiksi Yhdysvalloissa yleisempi on maan potentiaalissa oleva malli. Kuvassa 4 havainnollistetaan live tank –mallin katkaisijaa. (Elovaara & Haarla 2011, 168-172; Grigsby 1998, 5-26 – 5-27.)



Kuva 4. Live tank -mallin katkaisija. 1 = jalusta, 2 = Kojekotelo, 3 = ohjainlaatikko, 4 = tukieristin, 5 = ohjausliikkeen välitin, 6 = katkaisupää, 7 = jännitteellisen navan koronarengas, 8 = pystyasentoisen eristimen koronarengas (Elovaara & Haarla 2011, 169.)

3.1 Paineilmakatkaisijat

Vähäöljykatkaisijan kanssa tärkein katkaisija oli pitkään paineilmakatkaisija. Paineilmakatkaisijan toimiessa paineilmaa ohjataan valokaaren, mikä aiheuttaa valokaaren sammumisen ja jäähtymisen. Tämä katkaisijatyypin sopii parhaiten vaativiin tilanteisiin, missä katkaisuja tapahtuu usein ja verkon oikosulku- ja nimellisvirrat voivat kasvaa suuriksi. Paineilmakatkaisija voi myös katkaista nollakohdattoman vaihtovirran. Nykypäivänä paineilmakatkaisijoita tavataan teollisuudessa, missä niitä käytetään suurten generaattorien katkaisijoina. Katkaisijatyypin huonoina puolina mainittakoon paineilmaverkoston monimutkaisuus, katkaisijasta syntyvä melu sekä suhteellisen kallis hinta verrattuna muihin katkaisijatyyppeihin. Nykypäivänä paineilmakatkaisijoita

ei enää valmisteta vaan ne on korvattu katkaisijoilla, jotka käyttävät SF6-teknologiaa. (Elovaara & Haarla 2011, 177; Grigsby 1998, 5-26.)

3.2 Öljykatkaisijat

Yksi perinteisimmistä valokaaren sammutusaineista on mineraaliöljy. Se on ominaisuuksiltaan hyvä tähän tarkoitukseen, sillä sen eristyskyky on suuri. Valokaaren syntyessä mineraaliöljy luo painetta ja hajaantuu osiinsa. Tästä syntyy niin sanottu kaasuvaippa, joka jäähdyyttää ja sammuttaa valokaarta erittäin voimakkaasti, kunnes virta savuttaa luonnollisen nollakohtansa ja sammuttaa valokaaren lopullisesti. Vaikka öljy on loistava eristysaine, ei sillä kuitenkaan päästä lähellekään nykyisten SF6-katkaisijoiden eristys- ja katkaisukykyä. Ennen SF6-tekniikan kehittymistä 1960-luvulla, oli öljy katkaisijoiden pääasiallinen eristysaine. (Elovaara & Haarla 2011, 174-176; Grigsby 1998, 5-27.)

Ajan myötä öljykatkaisijoille ongelmalliseksi huomattiin suuri öljymäärä, mikä teki virheellisesti valittujen katkaisijoiden räjähdyksistä todella tuhoisia. Dead tank –tyypin öljykatkaisijan räjähtäessä saattoi koko kytkinlaitos tuhoutua öljynmäärän vaikutuksesta. Tämän takia kehitettiin vähäöljykatkaisija. Vähäöljykatkaisija poikkeaa normaalista öljykatkaisijasta siten, että siihen on jätetty jokaiselle vaiheelle pelkkä sammutuskammio tukieristimien varaan. Erillisillä sammutuskammioilla saavutettiin huomattavasti pienempi öljymäärän tarve, mikä pienentää vahinkoriskiä öljykatkaisijan vikatilanteessa tai pahimmassa tapauksessa räjähtäessä. (Elovaara & Haarla 2011, 174-176.)

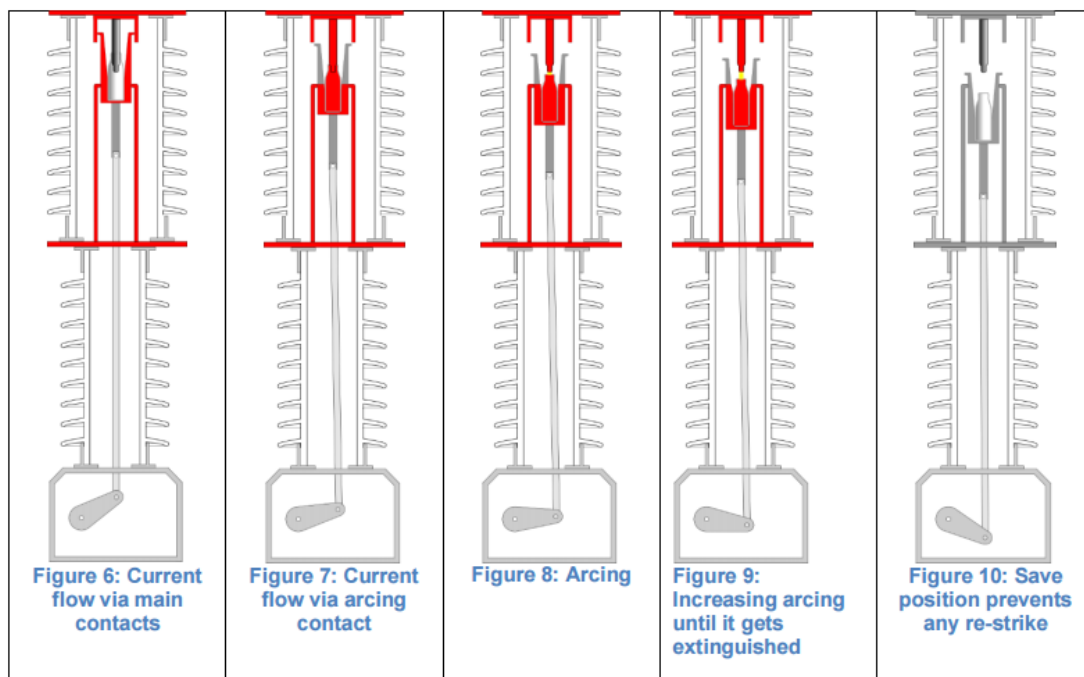
Vähäöljykatkaisijassa valokaaren sammutus perustuu öljyn höyrystyessä syntyvään paineeseen sekä tästä syntyvään öljyvirtaukseen. Kun öljy höyrystyy, se alkaa sitomaan lämpöä ja siten jäähdyyttää valokaarta. Katkaisijakammiossa olevien solakkojen avulla virtaus suunnataan valokaarta kohti, minkä avulla kosketinkärkien välinen eristyslujuus saadaan kasvamaan nopeasti. (Aura & Tonteri 1993, 276; Elovaara & Haarla 2011, 174-176.)

Vähäöljykatkaisijoiden optimaalinen soveltuvuusalue on 7,2-123kV jännitteillä paikoissa, missä esiintyy kohtalaisia oikosulkuvirtoja sekä kytkentätiheydet eivät ole suuria. Vähäöljykatkaisijoita esiintyy myös yli 145 kV asennuksissa, tällöin katkaisija koostuu useammasta sarjaan kytketystä katkaisuelementistä. Ilmastolliset huolet, öljyvahinkojen vähentämisen tarve, huoltokustannukset sekä SF₆-tekniikan kehittyminen ovat sivuuttaneet öljykatkaisijat uusissa asennuksissa. Näiden seikkojen takia vähäöljykatkaisijoiden valmistus on lopetettu, mutta niitä on silti käytössä verkon eri osissa. (Elovaara & Haarla 2011, 174-176; Grigsby 1998, 5-27.)

3.3 SF₆ -katkaisijat

SF₆-kaasu eli rikkiheksafluoridi on yleisin suurjännitekatkaisijoissa käytetty eristysaine. SF₆-katkaisijoiden suurin etu kilpaileviin menetelmiin on sammutusvälineen palamattomuus, valokaaren jäähdytyskyky, suurempi palaavan jännitteen kestokyky sekä suurempi katkaisuteho. Näiden seikkojen takia SF₆-katkaisija on todettu taloudellisimmaksi sekä kannattavimmaksi ratkaisuksi yli 123 kV :n jännitteillä. (Elovaara & Haarla 2011, 177-178.)

Ajan myötä kaasukatkaisijoiden suurin kehityskohde on ollut katkaisutekniikassa. Alun perin kaksipainekatkaisijoissa kaasu johdettiin korkeapaineisesta osasta matalapaineiseen osaan, missä itse katkaisu tapahtui. Erilaisten apulaitteiden sekä korkean laukaisuenergian takia tästä tekniikasta päätettiin luopua ja kehitettiin yksipainekatkaisijat. Yksipainetekniikalla varustetuissa katkaisijoissa avautumisliikkeestä syntyvä voima puristaa kaasua kasaan jonka jälkeen se ohjataan venttiileillä kohti valokaarta, joka sammuttaa sen. Katkaisijan toimiessa auki suuntaan aukeaa pääkosketin ensin, mikä siirtää virran valokaarikoskettimille. Avautumisen jatkuessa myös valokaarikoskettimet eroavat toisistaan, mikä synnyttää niiden välille valokaaren. Pää- ja valokaarikoskettimien avautuminen liikuttaa myös mäntää, mikä puristaa kokoon alla olevaa kaasutilaa. Männän tuottama puristusvoima saa aikaan voimakkaan kaasuvirtauksen, mikä ohjataan valokaareen sammuttaen sen. (Elovaara & Haarla 2011, 179.) Kuvassa 5 on kuvattu katkaisijan avautumistapahtumaa. Kuvassa näkyy virran siirtyminen pääkoskettimilta valokaarikoskettimille. Punainen väri havainnollistaa virran kulkua.



Kuva 5. Katkaisijan toimintaa havainnollistava kuva. (Nenning 2014, 4.)

Edellä todetulla menetelmällä SF6-keskijännitekatkaisijoiden katkaisuenergia on saatu erittäin pieneksi. Tekniikkaa on sittemmin alettu hyödyntämään myös suurempien jännitteiden katkaisijoissa. (Elovaara & Haarla 2011, 180.)

SF6-katkaisijan huonoiksi puoliksi mainittakoon valokaaren aiheuttamat myrkylliset päästöt, kosteuden kanssa korroosiota aiheuttavat yhdisteet kaasukammiossa sekä kaasun nesteytyminen alhaisissa lämpötiloissa. Sen jälkeen, kun rikkiheksafluoridi todettiin kasvihuonekaasuksi, on myös katkaisijoiden tiiveyteen ja paineen seurantaan pitänyt kiinnittää enemmän huomiota. Lisäksi paineen alentuessa SF6-kaasun eristyskyky heikkenee merkittävästi. Tämä on johtanut siihen, että painetta tarkkaillaan ja katkaisija ei toimi, mikäli paine ei ole tarpeeksi suuri. (Elovaara & Haarla 2011, 181; Grigsby 1998, 5-27.)

3.4 Tyhjiökatkaisijat

Tyhjiökatkaisijan ero edellä mainituista katkaisijatyypeistä on siinä, että sen rakenne on erittäin yksinkertainen; tyhjiösäiliö, missä on kiinteä- ja valokaarikosketin. Toisin kuin muissa katkaisijatyypeissä, katkaisijan avauduttua jää valokaari palamaan kaasun sijasta ionisoituneeseen metallipilveen. Katkaisutapahtumassa virran nollakohdassa metallihöyryn ionisaatio katoaa ja itse höyry tiivistyy. Tämä kaikki tapahtuu hyvin nopeasti, mistä syystä katkaisijakyky ei ole juuri ollenkaan riippuvainen jännitteen muodosta tai jyrkkyydestä. (Elovaara & Haarla 2011, 182-183.)

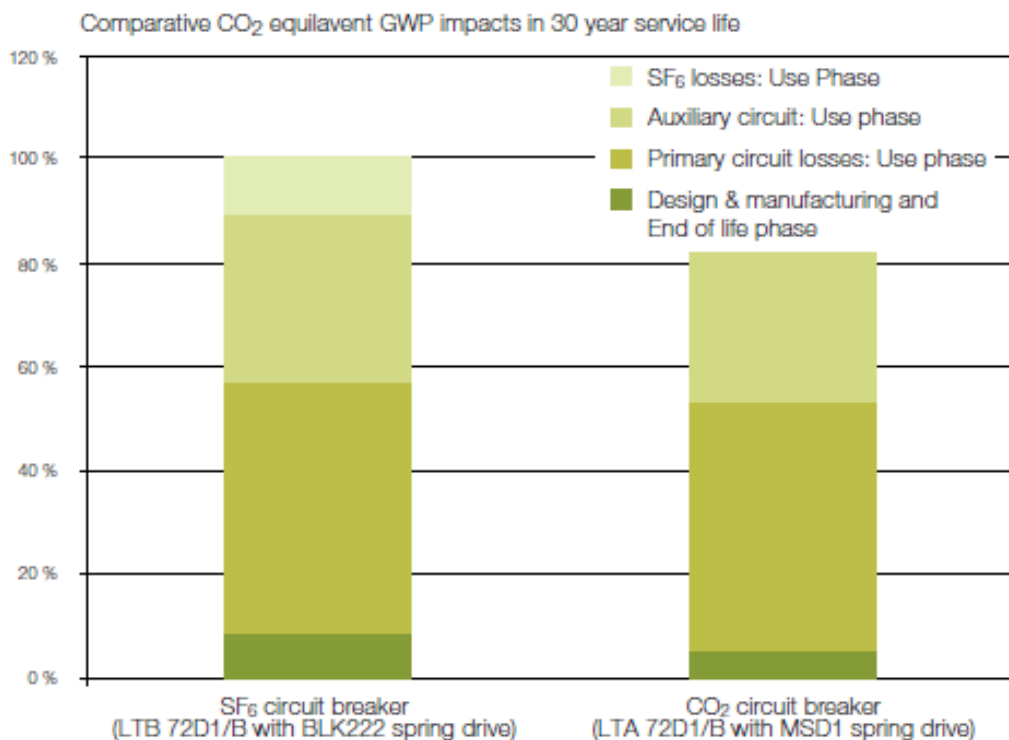
Tyhjiökatkaisijasta hyvän ratkaisun muihin katkaisijatyyppeihin verrattuna tekee sen huoltovapaus. Katkaisija voi mitoitusvirrallaan toimia jopa kymmeniä tuhansia kertoja ilman huoltoa; vain katkaisijan ohjain tarvitsee voittoa määrääjain. Tällä hetkellä valmistus keskittyy lähinnä keskijännitealueelle, missä vikavirran katkaisukyvyssä päästään 80 – 104 kiloampeeriin. Parhaiten tyhjiökatkaisija sijoittuu kohteisiin, missä on suuri kytkentätiheys sekä vaaditaan keskinkertaista katkaisukykyä. Yli 110kV tyhjiökatkaisijat ovat kehitteillä ja niiden odotetaan tulevan markkinoille lähivuosina. (Elovaara & Haarla 2011, 182-183; Grigsby 1998, 5-27.)

3.5 CO₂ -katkaisijat

Sen jälkeen, kun SF₆-kaasu todettiin kasvihuonekaasuksi, on ympäristöystävällisyyden pitänyt panostaa yhä enemmän. Esimerkiksi ABB on alkanut kehittää CO₂-katkaisijoita, joiden toiminta perustuu siihen, että katkaisevana väliaineena käytetään rikkiheksafluoridin sijasta hiilidioksidia. Toimintamekanismi CO₂-katkaisijalla on identtinen SF₆-katkaisijaan verrattuna. CO₂-katkaisijalla on ympäristöystävällisyyden lisäksi erittäin alhainen toimintaenergia, mikä taas alentaa katkaisijan toimintavoimia katkaisijan sisällä. (ABB AB High Voltage Products, 4-5.)

Ympäristöystävällisyyttä voidaan mitata muun muassa ilmaston lämpenemispotentiaalilla (GWP = Global warming potential), alla olevassa kuvassa 6 verrataan CO₂ ja

SF₆ -päästöjä tuotteen elinkaareissa 30 vuoden ajalta. Vertailussa on ABB:n valmistama mallin LTB 72D1/B SF₆-katkaisija BLK222 -jousella sekä mallin LTA 72D1/B CO₂-katkaisija MSD1 -jousella. (ABB AB High Voltage Products, 5.)



Kuva 6. ABB:n CO₂ -katkaisijan päästöt verrattuna SF₆-katkaisijaan (ABB AB High Voltage Products, 5.)

4 SUURJÄNNITEKATKAISIJOIDEN KUNNOSSAPITO

Tässä opinnäytetyössä käsitellään 110kV/400kV sähköasemien suurjännitekatkaisijoille suoritettavia kunnossapitomittauksia ISA :n valmistamalla CBA 3000 -mittalaitteella. Mittalaite on tarkoitettu vain ja ainoastaan katkaisijoiden käyttöönotto- sekä kunnossapitomittauksia varten.

Suomessa 110kV/400kV sähköasemilla suurjännitekatkaisijoille suoritetaan mittaus- sekä tarkastushuoltoja keskimäärin kerran kymmenessä vuodessa. Sähköasemien kat-

kaisijoille suoritettavilla kunnossapitomittauksilla pyritään ennalta ehkäisemään, havaitsemaan sekä paikantamaan katkaisijassa oleva mahdollinen vika tai epäkunto. Opinnäytetyön liitteenä on 400kV suurjännitekatkaisijan mittauspöytäkirja (Liite 1).

Suurjännitekatkaisijalle tehtäviä tarkastus- sekä mittaustoimenpiteitä on valtava määrä, kuten esimerkiksi visuaaliset tarkastukset, SF₆-kaasun valvonnan toimenpiteet sekä erilaiset mittaushuollot. Jokaisella kunnossapitotoimenpiteellä pyritään siihen, että katkaisija toimii oikein sekä että se kykenee suorittamaan valmistajan sille asettamat vaatimukset. CBA 3000 -mittalaitteella saatuja mittaustuloksia voidaan verrata esimerkiksi valmistajan antamiin mittaustuloksiin, edellisen huollon aikana saatuihin mittaustuloksiin tai samalla asemalla toimivien katkaisijoiden vastaaviin mittaustuloksiin.

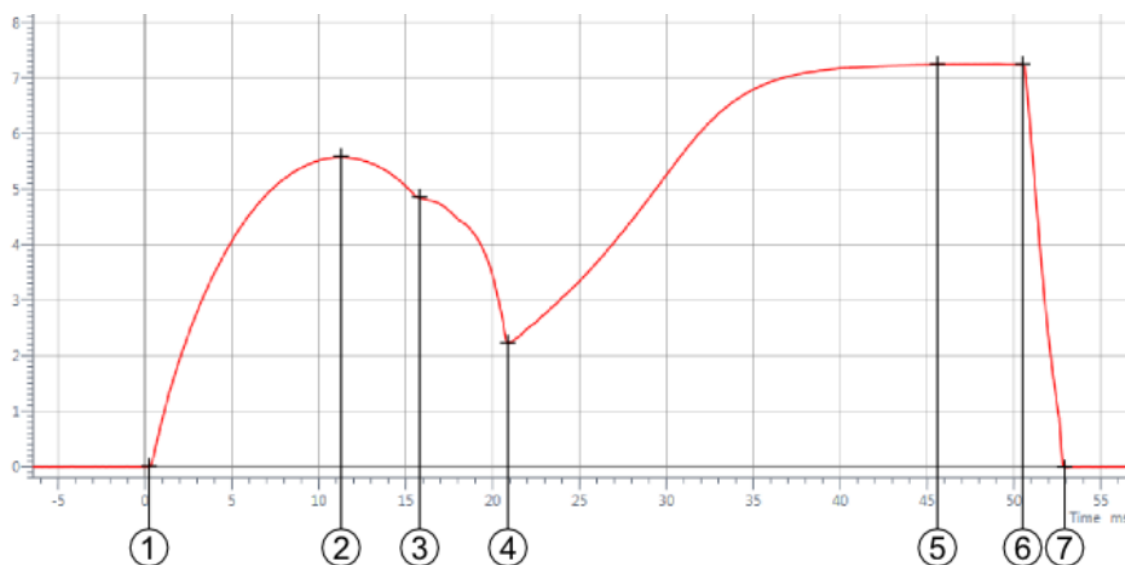
Nykypäivänä katkaisijan kunnossapitomittauksia pyritään tekemään yhä enemmän käytön aikana niin, että keskeytystä ei aiheutuisi asiakkaille. CBA 3000 -mittalaitteella on mahdollista suorittaa ohjauskelojen virtamittaus, toiminta-aikojen mittaus, first trip -mittaus sekä moottorin kuormitusvirran mittaus duplex -mallin sähköasemilla niin, ettei keskeytystä vaadita. Uusilla sähköasemilla voidaan katkaisijan yhteyteen asentaa myös kunnonvalvontalaitteistoja, mistä kunnossapitotietoja on mahdollista seurata, kun katkaisija toimii sen ollessa jännitteinen. (Laitinen henkilökohtainen tiedonanto 2.3.2017.)

Tässä opinnäytetyössä perehdytään erityisesti Fingrid Oyj:n 400/110kV sähköasemilla vaadittaviin kunnossapitomittauksiin, jotka voidaan CBA 3000 -mittalaitteella toteuttaa. Tämänlaisia mittauksia ovat esimerkiksi:

- Ohjauskelojen virtamittaus
- Katkaisijan toiminta-aikojen mittaus
- First trip -mittaus
- Liikeaikamittaus
- Staattisen ja dynaamisen resistanssin mittaus
- Kelojen minimitoimintajännitemittaus
- Moottorin kuormitusvirran mittaus

4.1 Ohjauskelojen virtamittaus

Ohjauskelojen virtamittauksessa on tarkoituksena huomata katkaisijan mahdolliset viat ohjauskelassa tai laitteen mekanismeissa. Mittauksessa seurataan kiinni- tai auki ohjauskelan virtapiirissä kulkevan virran suuruutta katkaisijan laukaisu- tai viritystilanteessa. Mittaustulokset annetaan kuvaajana, missä ohjauskelan virta on ajan funktiona. Kuvaa 7 tarkemmin tulkitsemalla voidaan huomata mahdolliset sähköiset ja mekaaniset viat sekä poikkeavuudet katkaisijan laukaisu- tai kiinniohjaus mekanismeissa katkaisijan toimiessa. (Nenning 2014, 2.)



Kuva 7. Tyypillinen kelavirran kuvaaja virta ajan funktiona. (Nenning 2014, 2.)

Jakamalla saatu kuvaaja osiin voidaan katkaisijan toiminnasta tehdä esimerkiksi taulukon 1 mukaisia havaintoja ja päätelmiä.

Taulukko 1. Esimerkki kelavirran mittaustulosten analysoinnista. (Nenning 2014, 2-4; Skelton 2011, 21.)

Tarkasteluväli:	Poikkeama alueella saattaa tarkoittaa:	Esimerkkejä mahdollisesta viasta:
1-2. Kela saa toimintasihtaalini ja virta alkaa kasvaa.	Kelalla on väärät nimellisarvot tai ongelmia jännitteen syötössä.	Katkaisijaan on asennettu väärän tyyppinen kela.

2-3. Releankkuri osuu mekaaniseen salpaan.	Jokin estää releankkuria liikkumasta tai releankkuri-salpa yhdistelmä on asennettu huonosti	Öljyä tai rasvaa väärässä paikassa. releankkuri-salpa yhdistelmä aseteltu fyysisesti väärin.
3-4. Releankkuri vapauttaa virittyneen jousen. releankkuri menee pääteasentoon.	Poikkeavuus alimmasta virrasta viittaa siihen, että releankkuri ei saavuttanut haluttua pääteapistettä.	Mekaaninen vika.
4-5. Releankkuri on pysähtynyt. Releankkurin paikan muutoksen takia kelan induktanssi on muuttunut ja tämän takia virta saa suuremman arvon ja nousee	Poikkeavuus halutussa aikavakiossa.	Kelan käämityksessä elektroninen vika.
5. Virta on ylittänyt kelan induktanssin ja pysyy vakiona, kunnes apukosketin aukeaa.	Virta katkeaa liian aikaisin tai liian myöhään.	Pää- ja apukoskettimien välinen laukaisuaika on väärä.
6. Virittyneen jousen laukaisun aikana (pisteestä 3. pisteeseen 6.) koskettimet vaihtavat tilaansa ja avautuvat.		
7. Apukoskettimien muuttunut tila pysäyttää jännitteen syötön, minkä takia releankkuri palaa lähtöasentoonsa.	Virta palautuu hitaasti tai nousee.	Releankkuri on mahdollisesti hidastunut, mekaaninen kitka tai vahingoittunut palautusdiodi.

4.2 Katkaisijan toiminta-aikojen mittaus

Toiminta-aikojen mittauksen perimmäisenä tavoitteena on varmistaa katkaisijan oikea toiminta sekä huomata mahdolliset viat ennen kuin niistä aiheutuu vaaraa verkon toiminnalle tai laitteistolle. Mittaustuloksia tutkimalla ja vertailemalla aikaisempiin tuloksiin voidaan katkaisijalle suoritettavien huoltojen ajankohta määritellä. (Brieci 2002, 1-2.)

Katkaisijan toiminta-ajalla tarkoitetaan sitä aikaa, mikä katkaisijan koskettimilla kestää avautua tai sulkeutua. Toiminta-aikoja mitattaessa dokumentoidaan katkaisijasta yleensä auki, kiinni ja auki - kiinni - auki - ajat. Katkaisijan auki -toiminta-ajalla tarkoitetaan sitä aikaa, mikä katkaisijalta kuluu koskettimien aukeamiseen sen jälkeen, kun kela on saanut avautumissignaalin. Katkaisijan kiinni -toiminta-ajalla tarkoitetaan päinvastaisesti taas sitä aikaa, mikä katkaisijalta kuluu koskettimen sulkeutumiseen sen jälkeen, kun kela on saanut sulkeutumissignaalin. Mahdollisen pikajälleenkytkennän takia katkaisijalle tehdään myös auki - kiinni - auki toiminta-aikamittaus. Tämä tarkoittaa sitä aikaa, mikä katkaisijalta kuluu, kun se avautuu, sulkeutuu ja avautuu uudestaan sen jälkeen, kun kela on saanut toimintasygnaalin. (Megger 2012, 26.)

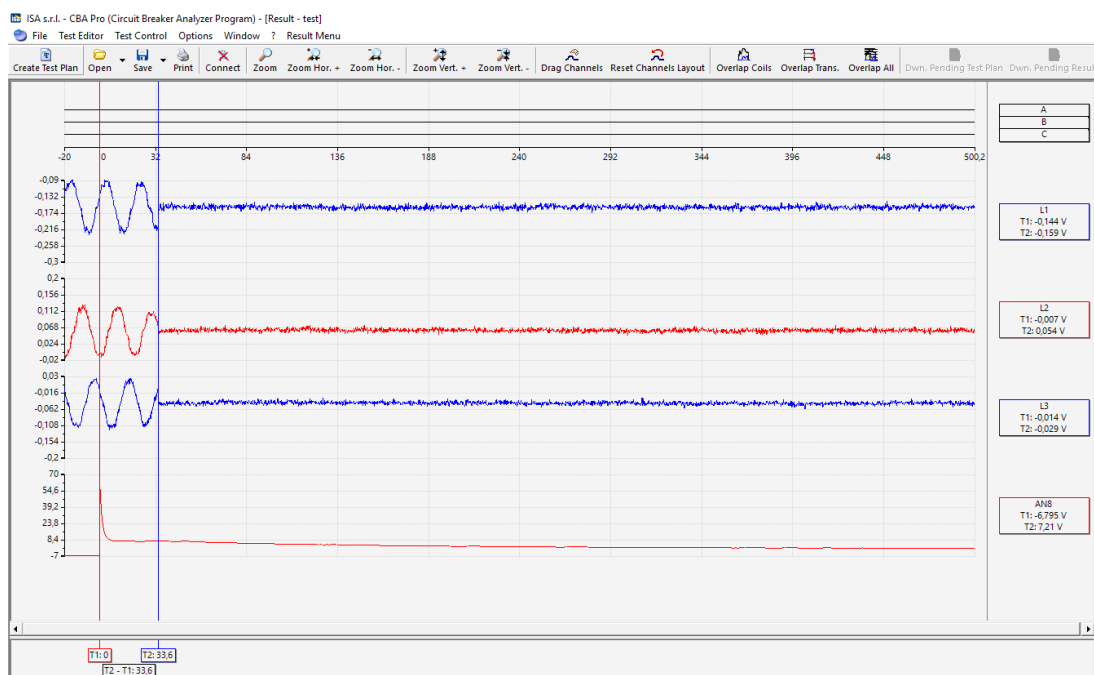
Katkaisijan nopea aukeaminen sekä sulkeutuminen ovat tärkeimpiä ominaisuuksia sen toiminnassa. Esimerkiksi jos katkaisijan aukeaminen kestää liian kauan, tarkoittaa se sitä, että verkostolle ja sen laitteille haitallinen suuri oikosulkuvirta vaikuttaa piirissä pidempään mahdollisesti tuhoisin seurauksin. On myös tärkeää, että katkaisijan kaikki navat toimivat samanaikaisesti. Esimerkiksi jos yksi vaihe toimii eriaikaisesti, tarkoittaa se, että katkaisijan sulkeutuessa hitain ja avautuessa nopein vaihe kuormittuu enemmän kuin muut, mikä taas vaikuttaa sen katkaisupilarin elinkaareen. Napojen eriaikaisuus saattaa aiheuttaa jännitepiikkejä mitkä voivat vaurioittaa siirtoverkon eri osia. Jotta näiltä tilanteilta vältyttäisiin, ovat kausiluontoiset toiminta-aikamittaukset katkaisijalle erittäin tärkeitä. (Brikci 2002, 1-2.)

4.3 First trip -mittaus

Katkaisija saattaa olla käyttämättömänä ja kiinni- tilassa osana voimansiirtoverkkoa useita vuosia, mutta silti sen odotetaan katkaisevan tuhansien ampeerien oikosulkuvirta millisekunneissa. Oletettavaa on, että esimerkiksi ympäristön ja sään muutokset, kovettunut rasva tai muut mekaaniset tapahtumat katkaisijan sisällä vaikuttavat katkaisijan toimintaan sen ensimmäisellä laukaisukerralla. Normaalisti katkaisijan toiminta-aikamittauksia tehdään vasta, kun katkaisija on otettu pois verkosta, ja sitä on avattu ja suljettu jo muutaman kerran. Tämän takia usein tärkeä ja ”todellista” tilannetta havainnollistava first trip -mittaus jää kokonaan tallentamatta. Tehdystä first trip

-mittauksesta voidaan havaita sekä tutkia poikkeavuuksia katkaisijan valmistajan antamiin tietoihin sen jälkeen, kun katkaisija on ollut kiinni-tilassa useita kuukausia tai vuosia. (Sepcic henkilökohtainen tiedonanto 23.2.2017.)

First trip -mittaus toteutetaan kytkemällä virtapihti katkaisijakentän virtamuuntajien toisiopuolelle mittaamaan toisiovirtaa. Kun katkaisija ohjataan auki, on virran katkaisupisteestä laskettavissa laukaisuun kulunut toiminta-aika. (Sepcic henkilökohtainen tiedonanto 23.2.2017). Kuvassa 8 havainnollistetaan kolmivaiheista first trip -mittaustulosta. Mittaustuloksesta on selvästi nähtävissä se hetki, milloin virta katkeaa virtamuuntajien toisiopuolella. Mittauksen aloitus sekä virrankatkeamis hetkestä on laskettavissa katkaisijan vaiheiden toiminta-ajat.

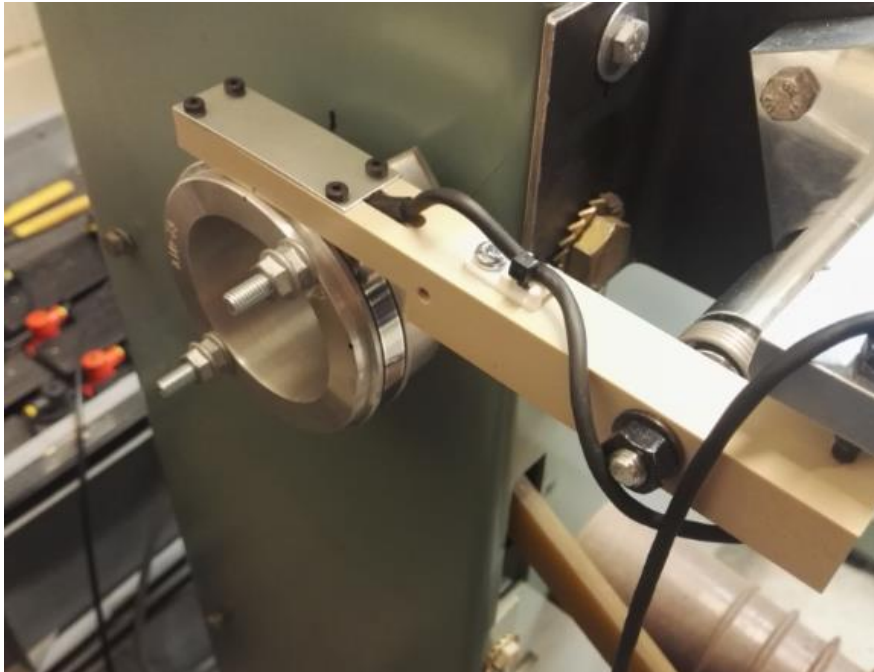


Kuva 8. Kolmivaiheinen first trip -mittaustulos. (Ylitalo 2017.)

4.4 Liikeaikamittaus

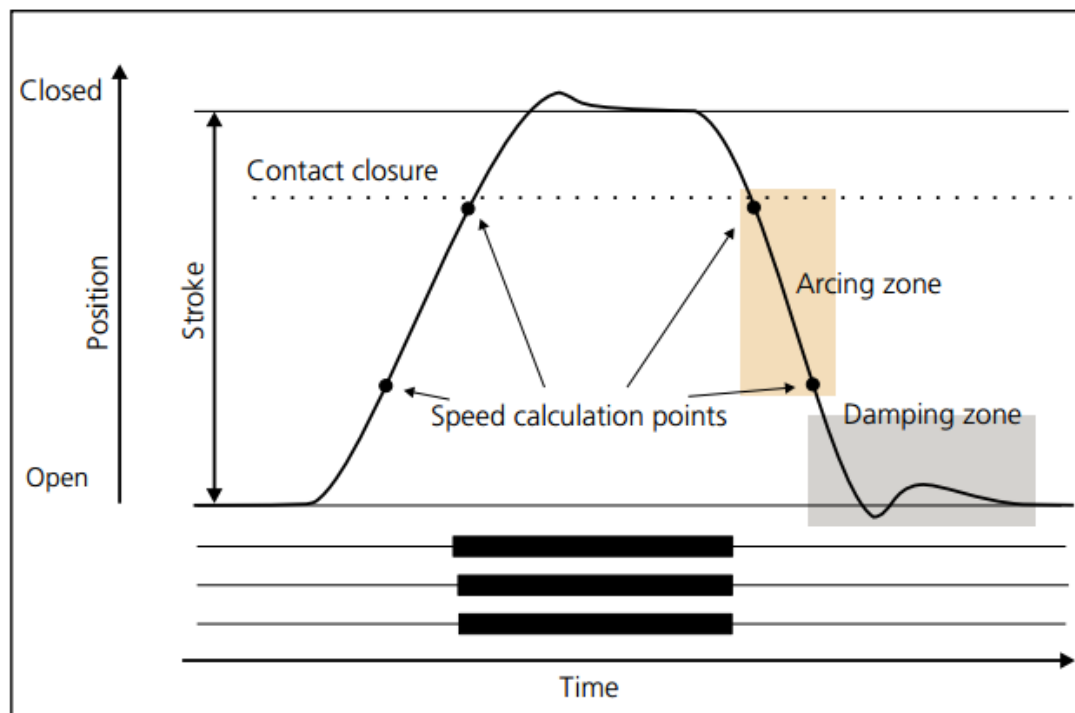
Katkaisijan toimiessa oikosulkuutilanteessa sen kaikki mekaaniset komponentit katkaisijan kammiossa sekä toimintamekanismissa joutuvat kovan kuormituksen kohteeksi. (Megger 2012, 27.)

Liikeaikakäyrä saadaan kytkemällä liikeanturi (kuva 9) katkaisijan mekaanisesti liikkuvaan osaan. Liikeanturi antaa katkaisijan toimiessa analogista tai digitaalista jännitetietoa siitä, miten katkaisijan kosketin liikkuu kammiossa. (Megger 2012, 27.)



Kuva 9. Digitaalinen liikeanturi kytkettynä 20 kV :n mekaanisesti liikkuvaan osaan. (Ylitalo 2017.)

Mittalaitteella katkaisijan toiminnasta saadaan kuvaaja, missä liike on ajan funktiona. Katkaisijan eri liikeaikamittaustuloksia vertailemalla katkaisijan valmistajan antamiin mittaustuloksiin voidaan katkaisijan vaimennusmekanismiin tai mekaanisiin osiin kohdistuvat ongelmat paikantaa. Alla olevassa kuvassa 10 näkyy tyypillinen katkaisijan liikeaikakuvaaja. Kuvaajan avulla voidaan tutkia esimerkiksi katkaisijan liikettä, matkaa sekä mekaanista käyttäytymistä sen sulkeutumisen tai avautumisen aikana. (Megger 2012, 27.)



Kuva 10. Tyypillinen katkaisijan liikeaika kuvaaja kiinni – auki ajossa. (Megger 2012, 27.)

Edellä olevaa kuvaa tutkimalla voidaan katkaisijan toiminnasta tehdä erilaisia havain-
toja. Kun katkaisija avautuu ja menee ns. vaimennusalueelle (damping zone) tapahtuu
sen sisällä mekaanista värähtelyä. Liiallinen värähtely vaimennusalueella viittaa sii-
hen, että katkaisijan vaimennusmekanismissa on jotain vikaa. Vaimennusmekanismin
tarkoitus on estää vahinkoja katkaisijan mekaanisissa komponenteissa hidastamalla
koskettimien liikettä sen jälkeen, kun ne ovat avautuneet kokonaan. Katkaisijoissa
yleensä käytetty vaimennussylinterimekanismi on samankaltainen kuin autoissa käy-
tetty vaimennusmekanismi. Kuvasta 10 näkyy, kuinka vaimennusmekanismi hidastaa
koskettimien liikettä ennekuin ne saapuvat päteeasentoonsa. (Nenning 2014, 6.)

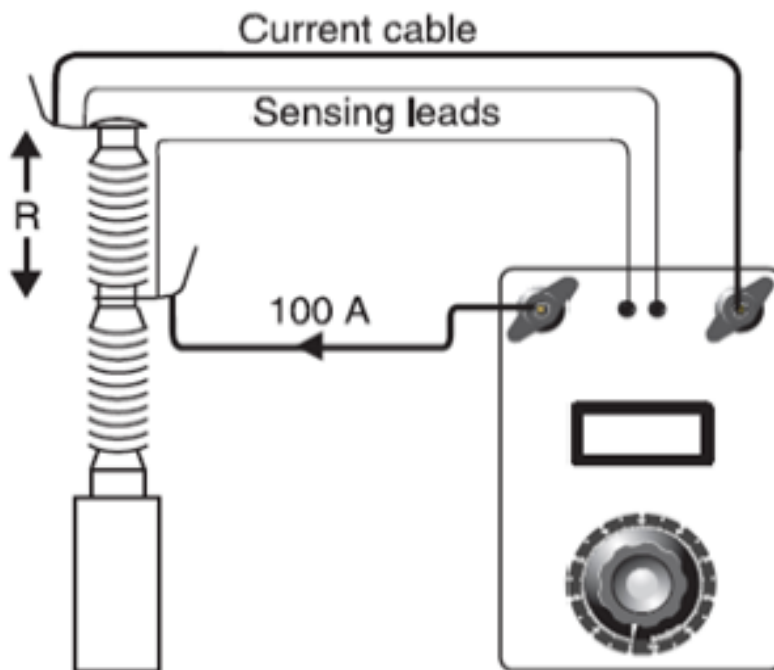
Kuvasta 10 voi olla nähtävissä myös eroa pääkoskettimien lähtö- ja päteeasennon vä-
lillä. Jos kokonaismatka eroaa eri mittausten välillä, saattaa se tarkoittaa, että katkaisija
ei ole varastoinut tarpeeksi energiaa (kulunut jousi tai vuotava painemekanismi) tai
että käytetty energia liikkeen aikana on kasvanut mahdollisen kitkan takia (korroosiota
katkaisijan kammiossa tai mekaanisissa osissa). (Nenning 2014, 7.)

Kuvasta 10 on myös mahdollista tutkia katkaisijan liikkeen aloitus- ja päättymishetkiä. Mikäli kuvaajan liike alkaa aikaisemmin kuin aikaisemmissa mittauksissa, saattaa se tarkoittaa, että koskettimet ovat kuluneet. Tämä tarkoittaa sitä, että katkaisijan edellisellä mittaukerralla energiaa varastoitiin enemmän (enemmän painetta painejärjestelmässä) tai että koskettimien liikkuminen kulutti vähemmän energiaa (kosketin liian lyhyt). Katkaisija ei saa avautua liian nopeasti, sillä muuten se ei pystyisi käsittelemään transientti oikosulkuvirtaa. Liian hitaassa avautumisessa taas voisi syntyä valokaaren uudelleenlyönti. Liikeaikamittauksessa saatujen mittaustulosten ja raja-arvojen tulee olla lähes samankaltaisia kuin katkaisijan valmistajan antamat mittaustulokset. Mikäli näin ei ole, tarvitsee katkaisija tarkempaa tutkimista tai huoltoa. (Nenning 2014, 7.)

4.5 Staattisen resistanssin mittaus

Katkaisijoilla, kuten muillakin sähköteknisillä laitteilla, tulee mahdollisia energiahäviöitä. Osa näistä häviöistä syntyy, kun virtaa johtavat osat kuumentuvat vikatilanteessa tai kun virtapiirissä on huono liitos. Jotta häviöiltä tai piirin katkeamiselta vältyttäisiin, on tarpeellista seurata katkaisijan ylimenovastusta. SRM (Static Resistance Measurement) mittaus, tai Suomessa yleisimmin käytetty nimitys ylimenovastusmittaus on yksi yleisimpiä mittauksia, mitä sähköasemalla toteutetaan. (Stanisic 2011, 1.)

Ylimenovastusmittauksessa katkaisijan kiinni ollessa sen virtateiden molemmille puolelle asennetaan virta ja jännitekaapelit. Virtakaapeleista katkaisijan läpi syötetään virtaa sekä erillisillä jännitekaapeleilla mitataan jännite. Mittalaite laskee saaduista virrasta ja jännitteestä resistanssin virtatien välissä. Saatu resistanssin kertoo oleellista tietoa katkaisijan virtateiden kunnosta. Kuvassa 11 havainnollistetaan katkaisijan ylimenovastuksen mittausta. (Stanisic 2011, 1.)



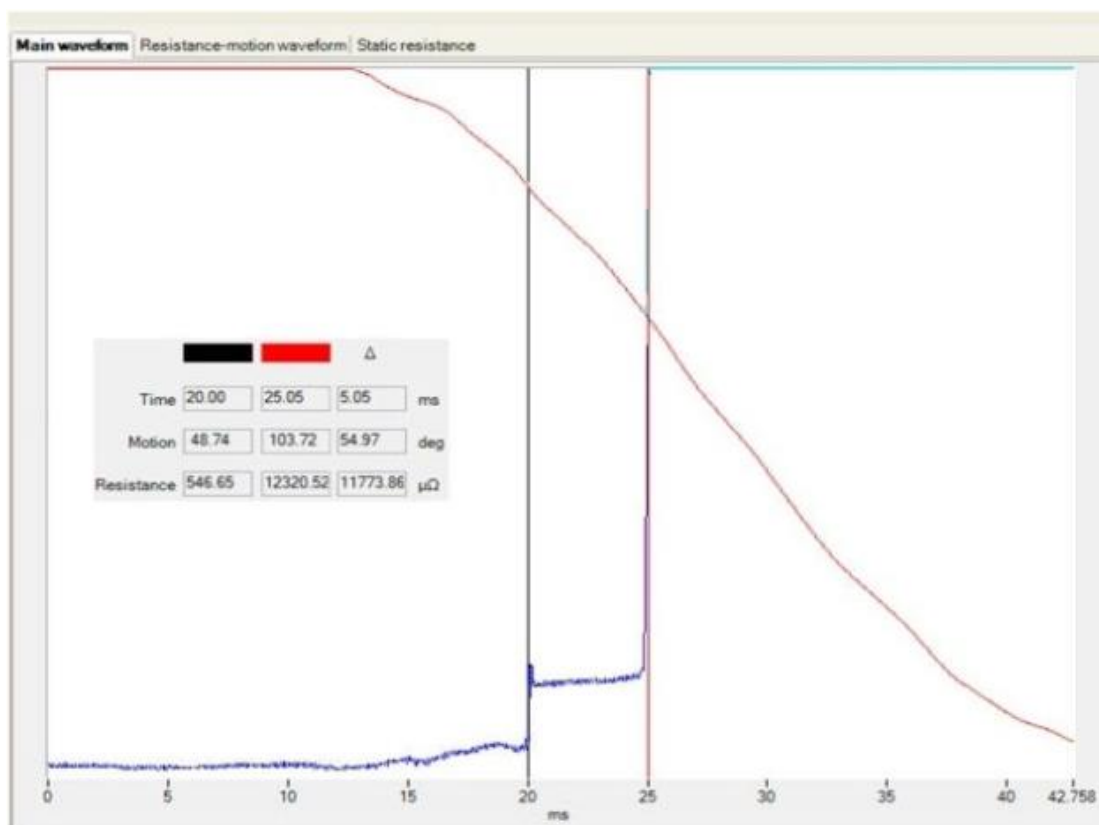
Kuva 11. Ylimenovastuksen mittauskytkentä (Stanisic 2011, 1.)

Staattinen resistanssi katkaisijalla on tyypillisesti luokkaa 10 – 1000 $\mu\Omega$. Mikäli valmistajan tai tilaajan antamat raja-arvot ylittyvät mittauksessa, on tarpeellista lähteä tutkimaan, onko virtapiiri mahdollisesti vioittunut tai katkennut. (Stanisic 2011, 1.)

4.6 Dynaamisen resistanssin mittaus

Staattisen resistanssin lisäksi katkaisijalle on tarpeellista tehdä myös dynaamisen resistanssin mittaus. Katkaisijan toimiessa sen sisällä olevat pää- ja valokaarikoskettimet avautuvat tai sulkeutuvat. Katkaisijan avautumistilanteessa pääkosketin avautuu ensin, jonka jälkeen kestää muutama millisekunti, kun valokaarikoskettimet avautuvat. Valokaari muodostuu täten vain valokaarikoskettimien välille. Katkaisijan toimiessa viikatilanteessa saattaa sen valokaarikoskettimille kohdistua tuhansien ampeerien virta. Näin suurien virtojen voiman ja lämpötilan takia valokaarikoskettimet kokevat eroosiota ja kulumista. Lisäksi mekaaninen voima katkaisijan toimiessa saattaa aiheuttaa poikkeamaa koskettimissa. (Secic & Milovic 2014, 1-4.)

Jotta valokaarikoskettimien kuntoa ja toimintaa voitaisiin seurata sekä mahdolliset viat huomata jo etukäteen, on sille tarpeellista tehdä DRM (Dynamic Resistance Measurement) mittaus. DRM mittauksessa katkaisijan lävitse syötetään virtaa samalla, kun mittalaite mittaa resistanssin ja ajan. Mittauksesta saadaan kuvaaja, missä katkaisijan resistanssi on ajan funktiona. (Secic & Milovic 2014, 1-4.)



Kuva 12. Erään 145kV SF6-katkaisijan DRM mittaustulos. (Secic & Milovic 2014, 4.)

Kuvan 12 mittaustuloksista on helppo nähdä se piste, missä pääkosketin vaihtuu valokaari koskettimeen. Mittaustuloksesta voidaan myös laskea valokaaren sekä valokaarikoskettimen pituus. Mittaustuloksia tutkimalla ja vertailemalla valmistajan antamiin tietoihin voidaan katkaisijan valokaarikoskettimiin kohdentuvat viat havaita. DRM mittaus suoritetaan yleensä vasta, kun liikeaika- tai toiminta-aikamittauksessa on huomattu poikkeavuuksia. (Secic & Milovic 2014, 4-5.)

4.7 Kelojen minimitoimintajännitteenmittaus

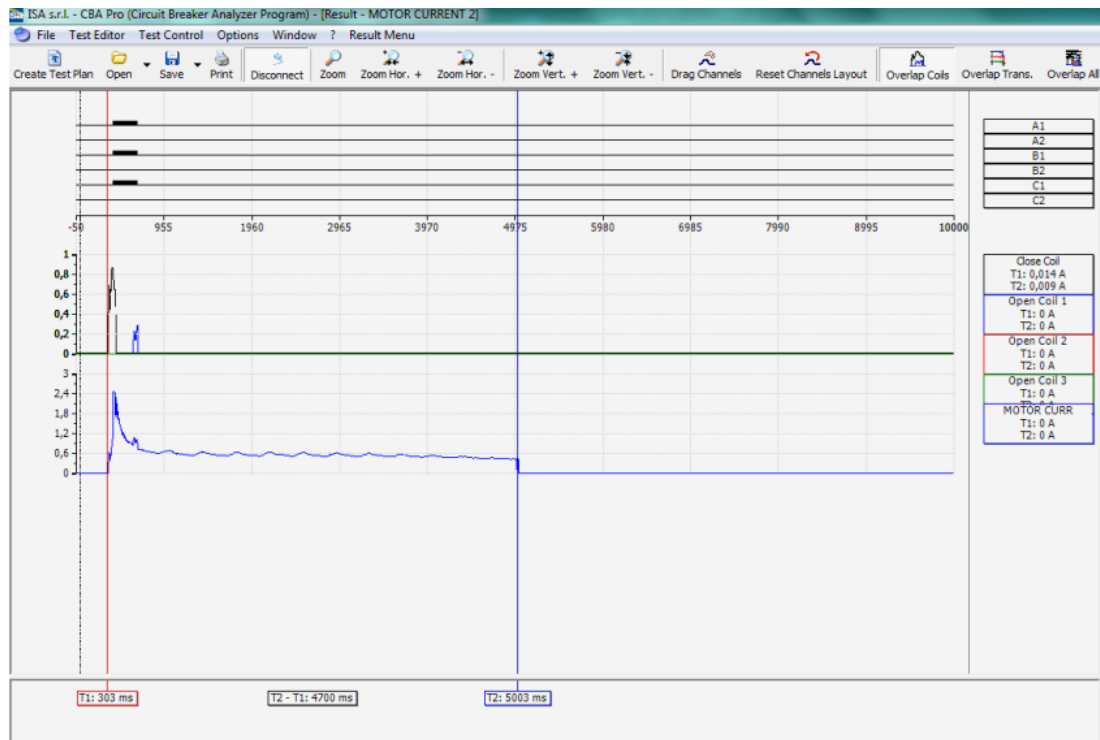
Kelojen minimitoimintajännitemittauksen tarkoituksena on varmistaa, että katkaisija toimii myös silloin, kun sähköasema toimii oman akustonsa varassa sähkökatkon aikaan. Mittauksen tarkoituksena on määrittää se jännite, minkä avulla kelan releankkuri vielä toimii. Tässä mittauksessa toiminta-ajalla ei ole väliä, vaan sillä, toimiiko katkaisija vai ei. (Laitinen henkilökohtainen tiedonanto 2.3.2017.)

Mittaus suoritetaan syöttämällä alhaista jännitettä katkaisijalle ja katsotaan, toimiiko se vai ei. Mikäli katkaisija ei toimi, kasvatetaan jännitettä portaittain aina niin kauan, kunnes katkaisija toimii. Katkaisijan toimiessa saatu minimitoimintajännite kirjataan ylös. Tuloksia vertailemalla aikaisempaan mittaustulokseen pystytään katkaisijalle tekemään mahdollisia huoltotoimenpiteitä. Standardien vaatimat alhaisimmat jännitteet ovat kiinni –kelalle 85% nimellisjännitteestä sekä auki –kelalle 70% nimellisjännitteestä. (Laitinen henkilökohtainen tiedonanto 2.3.2017.)

4.8 Moottorin kuormitusvirran mittaus

Kun katkaisija avautuu, vapautuu sen jousi. Tämän jälkeen tarvitsee se viritysmoottorin avulla virittää uudelleen tulevia laukaisuja varten. Joskus mittausten yhteydessä on katkaisijalle tarpeellista toteuttaa mittaus, missä seurataan viritysmoottoriin kuormitusvirtaa sen virittäessä katkaisijan jouta. (Lajunen henkilökohtainen tiedonanto 6.3.2017.)

Mittaus toteutetaan kytkemällä viritysmoottoria syöttävään piiriin virtapihti, millä seurataan virran kulkua. Kun katkaisija ohjataan kiinni, saadaan virtapihdin kautta kuormitusvirran suuruus sekä kesto. Mitattua virran arvoa sekä virityksen kestoa vertailemalla moottorin nimellisarvoihin voidaan katkaisijan moottorin toiminnassa oleva mahdollinen vika huomata. (Lajunen henkilökohtainen tiedonanto 6.3.2017). Kuvassa 13 on erään viritysmoottorin kuormitusvirran mittaustulos.



Kuva 13. Erään viritysmoottorin kuormitusvirran mittaustulos. Kuvaajasta on helpposti nähtävissä virta sekä viritukseen kuluva aika. (Biotti 2014, 57.)

5 CBA 3000 -KATKAISIJA-ANALYSAATTORI

CBA 3000 -katkaisija-analyssaattori (kuva 14) hankittiin Empower PN Oy:lle Harjavan sähkösamat-yksikölle keväällä 2017. CBA 3000 -katkaisija-analyssaattorilla pystytään suorittamaan kaikki tärkeimmät katkaisijalle vaadittavat kunnossapito-mittaukset. Harjoittelin mittalaitteen käyttöä sekä sen toimintoja Harjavallassa harjoitus 20 kV :n sekä 400 V:n katkaisijalla useita viikkoja ennen kuin laitetta lähdettiin koittamaan kenttäolosuhteisiin suuremmilla jännitteillä. Lisäksi laitteen valmistajalta saapui henkilö Suomeen pitämään minulle koulutuksen laitteen käytöstä. Mittalaite oli yritykselle aivan uusi ja olin yksi sen ensimmäisistä käyttäjistä. Mittalaitteen mukana ei tullut käyttöopasta, joten opinnäytetyön liitteenä mittalaitteelle tehtiin käyttöopas helpottamaan mittausten aloittamista sekä vähentämään sitä aikaa, mikä mittajalla kuluu laitteeseen tutustumiseen ja mittausten tulkitsemiseen.



Kuva 14. CBA 3000 -katkaisija-analysaattori (ISA :n [www-sivut](http://www.isa.com) 2017.)

Katkaisija-analysaattorin mukana tuli seuraavat tarvikkeet ja kaapelit:

- Virtakaapeli
- Ethernet -kaapeli
- Maadoituskaapeli
- Viisi salkkua, joissa useita erilaisia kaapeleita
- Kolme kappaletta virtapihtejä
- CBAPro tietokoneohjelma mittaustulosten tulkitsemista varten

Laitteen saapumishetkellä CBA 3000 on vielä kehitysvaiheella, ja osa laitteen toiminnosta ohjelmoidaan laitteeseen päivityspakettien myötä ISA :n toimesta. Keväällä 2017 mittalaitteella tehtävät mittaukset ja toiminnot ovat:

- Ohjauskelojen virtamittaus
- Toiminta-aikojen mittaus
- Staattinen resistanssi
- Dynaaminen resistanssi
- First trip -mittaus
- Moottorin kuormitusvirran mittaus

- Both Sides Grounded -kalibrointi

Laitteeseen ohjelmistopäivitysten myötä tulevia mittauksia mitä ei päästy tekemään ovat:

- Analoginen ja digitaalinen liikeaikamittaus
- Kelan minimitoimintajännitemittaus

Kun kytkennät on tehty oikein, suorittaa laite mittaukset ja antaa laitteen näytölle mittaustulokset. Mittaustuloksia tulkitsemalla jo kentällä voidaan mahdolliset epäonnistuneet mittaukset poistaa ja suorittaa uudelleen. Mittauslaitteella on mahdollista tehdä myös mittaussuunnitelma, jonka avulla yhden katkaisijan kaikki eri mittaukset saadaan samaan mittaustulokseen. Mittaustuloksia voidaan tietokoneella tulkita laitteen mukana tulleella CBAPro sovelluksella ja tämän jälkeen mitaustuloksista voidaan tehdä pöytäkirja. Ohjelmiston käytöstä kerrotaan lisää liitteenä olevassa käyttöohjeessa.

Mittausten yksinkertaisempaa tulkitsemista varten kannattaa mittaus aloittaa täyttämällä mittauksen tiedot mittalaitteeseen ensin. Tämä onnistuu tällä hetkellä vain laitteessa itsessään, mutta tulevaisuudessa ohjelmistopäivitysten myötä mittaussuunnitelmien teko sekä mitausten suorittaminen on mahdollista myös tietokoneen kautta CBAPro tietokonesovelluksella.

Mittalaitteen suurimpana etuna on se, että kaikki tärkeimmät katkaisijalle suoritettavat kunnossapitomittaukset voidaan tehdä yhdellä laitteella. Ennen erilaisiin mittauksiin tarvittiin usea eri mittalaite, mikä johti siihen, että työmaalla tarvittavien laitteiden ja erilaisten johtimien määrä oli valtava. Lisäksi mittalaite mahdollistaa monimutkaisten mitaustulosten tarkastelun ja tutkimisen kentällä, mikä vähentää tapahtuvien virheiden määrää.

Mittauslaitteen pieni koko mahdollistaa sen helpon siirtämisen työmaalle. Myös johtimien mukana tulleet johdinsalkut mahdollistavat eri mittakaapeliin helpon siirtämisen ja organisoimisen työmaalla.

Käyttöolosuhteiden kannalta huomioitavaa on se, että mittalaitetta ei suositella käytettäväksi vesisateella ilman erillistä suojaa eikä talvella kovalla pakkasella. Oletettavaa on myös, että 400 kV :n linjojen läheisyydessä voimakas sähkökenttä saattaa aiheuttaa häiriötä mittaustuloksissa, mutta tätä ei päästy toteamaan käytännössä.

Huomioitavaa on myös mittauskaapelien asettelu. Erityisesti virransyöttökaapelit staattisen ja dynaamisen resistanssin mittaamisessa muodostivat suurta induktanssia, mikä näkyi mittaustuloksissa häiriönä, mikäli kaapelit olivat kerittyinä.

6 MITTAUKSET CBA 3000 -KATKAISIJA-ANALYSAATTORILLA

Opinnäytetyön osana tehtiin kunnossapitomittaukset 20 kV :n katkaisijalle Empower PN Oy:n Harjavallan yksikön tiloissa. Katkaisijalle suoritettiin kaikki mahdolliset mitaukset, mitä mittalaitteella pystytään tekemään. Mittauksessa testattu 20 kV :n katkaisija (Kuva 15) lainattiin Vakka-Suomen Voima Oy:ltä. Lisäksi mittauksia varten katkaisijalle rakennettiin 110 V:n akusto sen viritysmoottorille.



Kuva 15. CBA 3000 -mittalaite ja harjoituskäytössä oleva 20 kV :n katkaisija Harjavallassa. (Ylitalo 2017.)

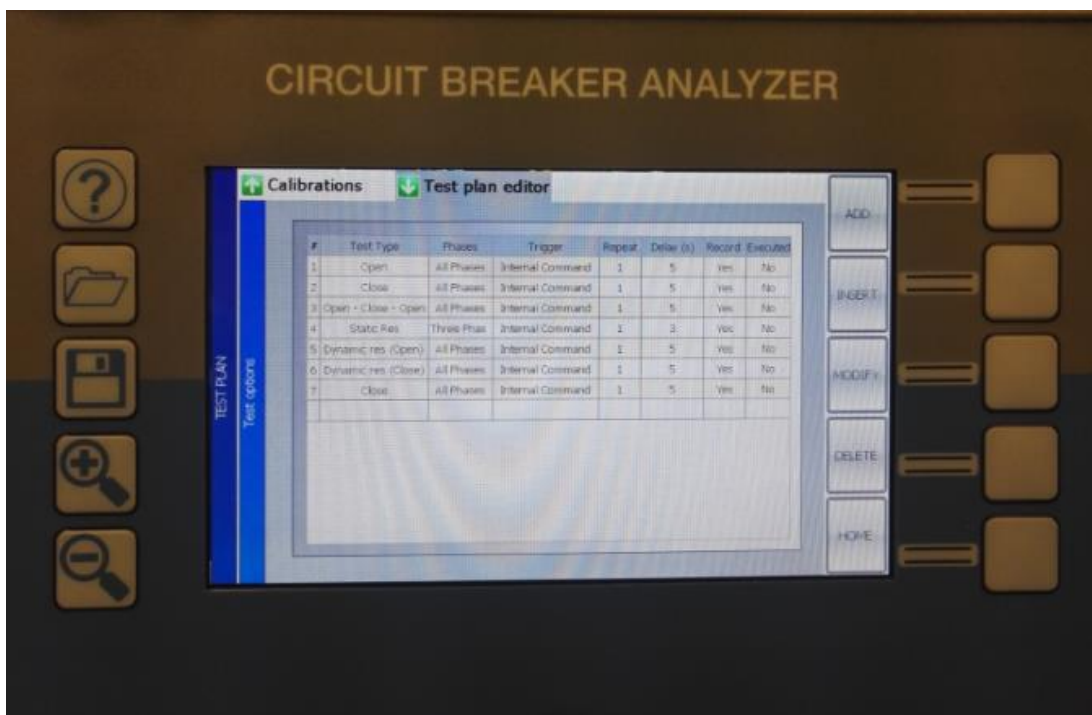
Kenttäolosuhteissa kunnossapitotyö aloitettaisiin kirjaamalla katkaisijasta sekä sähköasemasta kaikki tarvittavat tiedot mittalaitteeseen. Tätä ei kuitenkaan tässä tapauksessa tehty, sillä kyseessä oli harjoitustilanne.

Koska harjoitus katkaisijalla pyrittiin simuloimaan mahdollisimman hyvin kenttäolosuhteita, aloitettiin mittaukset first trip -mittauksella. Koska pääkoskettimien ylitse ei harjoitusolosuhteissa kulje virtaa, havainnollistettiin oikeaa tilannetta syöttämällä Sverker 650 virransyöttölaitteella virtaa katkaisijan pääkoskettimien ylitse ja kytkemällä virtapihti siihen. Kenttäolosuhteissa virtapihdit kytkettäisiin virtamuuntajan toisiopuolelle havaitsemaan virtaa.

Mittaus aloitettiin etsimällä piirikaaviosta (liite 2) katkaisijan auki- ja kiinnipiiri ja kytkemällä mittalaitteen ohjauskomennot niihin. Seuraavaksi ohjelmoitiin virtapihdin mittauskanava. Tämän jälkeen katkaisija ohjattiin mittalaitteella auki ja mittaustulos tuli näkyviin mittauslaitteen näyttöön. Tämän jälkeen mittaustulos siirrettiin USB-tikulla CBAPro -tietokonesovellukseen sen lähempää tarkastelua varten (Liite 3).

Ennen kuin muut mittaukset aloitettiin, ohjelmoitiin mittalaitteeseen kaikki mittauskanavat sekä tehtiin mittaussuunnitelma (kuva 16). Mittaussuunnitelmaa tehtäessä pitää olla erittäin huolellinen, että kaikki mittauksiin liittyvät arvot asetellaan oikein, ettei katkaisijalla tehdä turhia laukaisuja. Mittaussuunnitelmaan ohjelmoitiin mittaukset seuraavassa järjestyksessä:

- Auki toiminta-aika
- Kiinni toiminta-aika
- Auki - kiinni - auki toiminta-aika
- Staattinen resistanssi
- Dynaaminen resistanssi (auki)
- Dynaaminen resistanssi (kiinni)
- Kiinni -ohjaus mittaamaan moottorin kuormitusvirtaa



Kuva 16. CBA 3000 -mittalaitteeseen ohjelmoitu mittaussuunnitelma. (Ylitalo 2017.)

Seuraavaksi kytkettiin katkaisijan pääkoskettimien molemmille puolille kaapelit mittaamaan toiminta-aikoja (kuva 17). Kun kaikki mittauskanavat oltiin ohjelmoitu, kaapelit kytketty sekä mittaussuunnitelma tehty, voitiin mittaus aloittaa.



Kuva 17. Katkaisijan pääkoskettimiin on kytketty johtimet mittaamaan toiminta-aikoja. (Ylitalo 2017.)

Katkaisija ohjattiin ensin paikallisesti kiinni, jotta mittaus voitiin aloittaa. Tämän jälkeen mittauslaitteen etupaneelista painettiin “Start”. Laite antoi kymmenen varoitusääntä ja aloitti mittauksen. Mittalaite ajoi ensin katkaisijan auki mitaten samalla auki-toiminta-ajat sekä auki -kelavirran (liite 4). Seuraavaksi mittalaite ohjasi katkaisijan kiinni mitaten samalla kiinnitoiminta-ajat sekä kiinni -kelavirran (Liite 5). Kun katkaisija meni kiinni, ohjasi mittalaite sen vielä auki-kiinni-auki mitaten samalla toiminta-ajat sekä kelavirrat (Liite 6).

Seuraavaksi mittalaite pyysi tarkistamaan kytkennän staattista ja dynaamista resistanssia varten. Tämän jälkeen toiminta-aikaa mittaavat kaapelit poistettiin ja virta- sekä jännitekaapelit kytkettiin pääkoskettimien molemmille puolille (kuva 18).



Kuva 18. Katkaisijan pääkoskettimiin on kytketty virta -sekä jännitekaapelit mittaamaan staattista ja dynaamista resistanssia (Ylitalo 2017.)

Kaapelien kytkennässä tarvitsi erityistä huomiota kiinnittää siihen, että jännitettä mittaavat kaapelit ovat pääkosketin piirin sisäpuolella. Varmistuttiin myös siitä, että jännitekaapelit eivät koskettaneet virtakaapeleita, koska sitten mitattaisiin kaapelien resistanssia, mikä olisi paljon suurempi kuin katkaisijan resistanssi. Kaapelit myös levitettiin koko matkalta, jotta niiden induktanssi saatiin mahdollisimman pieneksi. (Biotti 2014, 103.)

Tämän jälkeen katkaisija ohjattiin paikallisesti kiinni. Kun oikeasta kytkennästä varmistuttiin, voitiin staattisen ja dynaamisen resistanssin mittausta aloittaa. Mittalaite mit-

tasi staattisen resistanssin (Liite 7), dynaamisen resistanssin auki (Liite 8) ja dynaamisen resistanssin kiinni (liite 9). Mittauksen jälkeen katkaisijan pääkoskettimista poistettiin jännite- sekä virtakaapelit.

Moottorin kuormitusvirran mittausta varten mittaussuunnitelmaan ohjelmoitiin vielä yksi kiinniohjaus niin, että mittausaikana on ainakin yli viisi sekuntia. Tämä tehtiin siksi, että mittaustulokseen tallentuu varmasti koko moottorin viritykseen kestävä aika, joka 20 kV :n katkaisijoilla on yleensä n. 5 sekuntia. Mittauskytkentä moottorin kuormitusvirran mittaukselle toteutettiin niin, että virtapihti kytkettiin viritysmoottoria syöttävään ohjauspiiriin. Virtapihdin kytkemisen jälkeen ohjelmoitiin mittalaitteeseen virran mittaamiseen vaadittava mittauskanava.

Kun kytkennät oltiin tehty, ohjattiin katkaisija paikallisesti auki. Tämän jälkeen painettiin mittalaitteen etupaneelista “Start” ja mittalaite ohjasi katkaisijan kiinni sekä suoritti mittauksen. Mittaustuloksena saatiin moottorin kuormitusvirran kuvaaja (Liite 10). Kun kaikki mittaukset oltiin suoritettu, ohjattiin katkaisija vielä kerran auki. Tämän jälkeen mittausjohdot poistettiin katkaisijasta.

Tässä vaiheessa tarkistettiin vielä laitteen näytöltä, että kaikki mittaukset suoritettiin onnistuneesti. Seuraavaksi kaikki saadut mittaustulokset tallennettiin USB-tikulle ja siirrettiin tietokoneelle tarkempaa tarkastelua varten. Kenttäolosuhteissa mittaustuloksista tehtäisiin pöytäkirja, missä näkyisi katkaisijan tiedot sekä kaikki mittaustulokset.

7 YHTEENVETO

Opinnäytetyössä käytiin läpi erilaisten katkaisijoiden tyyppejä sekä mitä erilaisia kunnossapitomittauksia on tarpeellista suorittaa katkaisijoille niiden huollon yhteydessä. Näitä mittauksia ovat muun muassa toiminta-aikojen mittausta, liikeaikamittaus, staattisen ja dynaamisen resistanssin mittausta sekä muut erikoismittaukset. Opinnäytetyön luettuaan mittaajalla tulisi olla käsitys siitä, miten mittaukset suoritetaan sekä miten mittaustuloksia tulkitaan.

Opinnäytetyössä suoritettiin kaikki kunnossapitomittaukset 20 kV :n katkaisijalle mitä CBA 3000 -mittalaitteella voidaan toteuttaa. Mittauksen eri työvaiheet ja kytkennät kuvattiin sekä mittaustulokset julkaistiin liitteenä opinnäytetyön lopussa.

Työn tuloksena CBA 3000 -mittalaitteelle tuotettiin käyttöopas. Käyttöoppaan avulla mittausten suorittamiseen sekä mittalaitteen tutustumiseen kuluva aika saatiin pienennettyä huomattavasti. CBA 3000 -mittalaite mahdollistaa kaikkien tärkeimpien kunnossapitomittausten suorittamisen yhdellä laitteella, mikä vähentää erilaisiin kytkentöihin kuluva aika. Mittalaitteen avulla mittausten suorittaminen nopeutuu ja tulokset ovat helpommin tarkasteltavissa kuin ennen.

8 JOHTOPÄÄTÖKSET

8.1 Johtopäätökset tutkimuksesta

Opinnäytetyön tavoitteena oli perehtyä CBA 3000 -mittalaitteen toimintaan sekä selvittää, miten kyseistä mittalaitetta pystyttäisiin hyödyntämään paremmin katkaisijoiden kunnossapidossa suoritettaviin mittauksiin. Lisäksi mittalaitteelle laadittiin käyttöopas.

Opinnäytetyönä tehtyä käyttöopasta pyritään hyödyntämään tulevaisuudessa kaikissa katkaisijoiden kunnossapitomittauksissa, mitkä suoritetaan CBA 3000 -mittalaitteella. Käyttöoppaaseen kirjoitettiin myös tietoa mittausten periaatteista sekä mittaustulosten tulkitsemisesta, mitä voidaan hyödyntää muiden Empower :in katkaisijamittalaitteiden kanssa. Käyttöopas helpottaa mittalaitteeseen tutustumista. Se myös lyhentää sitä aikaa, mikä mittaajalla kuluu mittausten suorittamiseen sekä saatujen mittaustulosten tulkitsemiseen. Tulevaisuudessa käyttöopas tulee kulkemaan laitteen kantosalkun mukana niin, että se on aina helposti käytettävissä.

Käyttöoppaan laatiminen alkoi perehtymällä ensin mittalaitteeseen noin kahden viikon ajan. Mittalaitteen mukana ei tullut minkäänlaista käyttöopasta, eli laitteen toimintojen

sekä mittausten opettelemiseen meni paljon aikaa. Opin osan mittauksista vasta, kun Italiasta saapunut laitteen valmistajan töissä oleva A. Sepcic antoi minulle noin päivän mittaisen kattavan perehdytyksen mittalaitteen käytöstä. Kun mittalaitteen käyttäminen alkoi olla täysin selvää, aloin laatia mittalaitteen käytöstä kattavia ohjeita.

Mittalaitteessa on tällä hetkellä vielä paljon parantamisen varaa. Mittalaitteesta puuttuu tällä hetkellä muutama tärkeä mittaus, kuten analoginen- ja digitaalinen liikeaika-mittaus sekä kelan minimitoimintajännitemittaus. Lisäksi Both Sides Grounded sekä first trip -toiminnon kalibroinnissa on vielä paljon parannusmahdollisuuksia. Myös osassa valikoita oli jonkin verran graafisia virheitä, mitkä tullaan korjaamaan laitteen valmistajan toimesta tulevaisuudessa. Lisäksi mittaustulosten tarkasteluun laadittu CBAPro -tietokonesovellus on vielä kehityksen kohteena, mutta tulevaisuudessa mittaustulosten entistä parempi tarkastelu, mittalaitteen ohjaaminen sovelluksen välityksellä sekä mittaussuunnitelman laatiminen tulee mahdolliseksi.

Kunnossapitomittausten tekeminen helpottui laitteen saamisen myötä huomattavasti. Ennen työmaalle tarvitsi viedä usea eri mittalaite mittausten suorittamiseen, nyt suurin osa niistä on tehtävissä CBA 3000 -mittalaitteella samanaikaisesti. Mittalaitteen mukana tulleet kaapelit kulkevat kätevästi salkuissa, mikä vähentää työautoissa olevien kaapelien määrää sekä poistaa mahdollisuuden siitä, että mittaja unohtaa mittaamiseen tarvittavia välineitä varikolle. Mittaustulosten tarkastelu työkohteessa CBAPro -tietokonesovelluksen välityksellä vähentää virheellisten mittausten määrää työmaalla. CBAPro sovelluksella laadittavat mittauspöytäkirjat mittaustuloksista vähentävät toimistolla tehtävää työmäärää merkittävästi.

Katkaisijoiden kunnossapito on koko ajan kehittymässä siihen suuntaan, että keskeytyksiä tarvitsisi tehdä yhä vähemmän. CBA 3000 -mittalaitteella käytönaikaisten mittausten suorittaminen on tehty erittäin tehokkaaksi ja helpoksi. Mittalaitteella on mahdollista suorittaa ohjauskelojen virtamittaus, toiminta-aikojen mittaus sekä moottorin kuormitusvirran mittaus niin, että katkaisijaa ei tarvitse tehdä jännitteettömäksi. Kahdeksan analogiakanavaa mahdollistavat joka vaiheen toiminta-aikojen, moottorien kuormitusvirtojen sekä auki- tai kiinnikelan virran mittaamisen yhdellä laukaisulla. Jotta näin pystyttäisiin kuitenkin tekemään, tarvitsisi virtapihtejä ostaa enemmän; yhteensä seitsemän kappaletta.

Käyttöturvallisuuden kannalta on huomioitavaa, että katkaisija tulee aina ennen mittaamista poistaa verkosta, varmistua sen jännitteettömyydestä sekä maadoittaa se asianmukaisesti (pois lukien käytönaikaiset mittaukset). Käyttöturvallisuudeltaan CBA 3000 -mittalaite on todella käyttäjäystävällinen. Kaikki sen virtaulostulot sekä mittauskanavat ovat hyvin kosketussuojattuja. Myös laitteen mukana tulleet johtimet ovat laadukkaita ja hyvin suojattuja. Käyttöturvallisuutta lisää erityisesti myös mittalaitteen antamat varoitussäät ennen mittausta sekä näytölle tulevat ilmoitukset mittausten käynnistymisestä. Mittalaitteen näytölle tulee myös teksti aina silloin, kun kytkentää on turvallista vaihtaa. CBA 3000 on ensimmäinen CBA -tuoteperheen mittalaite, missä Both Sides Grounded -toiminto on sisäisesti laitteessa. Both Sides Grounded -toiminto mahdollistaa katkaisijan toiminta-aikojen ja muiden mittausten suorittamisen, vaikka kummatkin puolet olisi maadoitettu. Tämä lisää huomattavasti työturvallisuutta sekä poistaa sen mahdollisuuden, että käyttäjä vahingossa koskisi esimerkiksi vaurioituneeseen johtimeen samalla, kun siihen on indusoitunut jännitettä maadoittamattomasta linjasta mittauksen aikana.

Käyttäjän kannalta hankalinta mittalaitteessa on se, että kaikki valikot ja ohjeet ovat englanniksi. Käyttöoppaan mukana laatimani suomi – englanti – suomi sanasto mittalaitteen käyttöön pyrkii vähentämään ongelmia laitteen käytössä, mutta ongelmatilanteen tullessa olisi käyttäjällä tarpeellista olla myös perusosaaminen englannin kielestä. Laitteen käyttäjällä tulisi olla myös perusosaaminen tietotekniikasta, sillä laitteiston päivitys ja CBAPro -sovelluksen käyttäminen vaativat jonkin verran sitä. Myös mittaustulosten tulkitseminen saattaa olla ongelmallista, mikäli käyttäjällä ei ole tietoa siitä, millaisia mittaustuloksia tulisi odottaa; tätä on pyritty helpottamaan käyttöoppaaseen tehdyillä teoriaosuuksilla mittauksista sekä mittaustulosten tulkitsemisestä.

Mittalaitteella saatu suurin hyöty on mielestäni se, että nyt suurin osa katkaisijan kunnossapidossa toteutettavista mittauksista on tehtävissä yhdellä laitteella samanaikaisesti. Tämä vähentää työmaalla tarvittavien mittalaitteiden määrää huomattavasti. Myös mittalaitteella laadittavat mittaussuunnitelmat vähentävät virheiden sekä tarvittavien kytkentöjen määrää mittauksen aikana. Käyttöturvallisuuden kannalta Both Si-

des Grounded -toiminto sekä erilaiset ilmoitukset mittalaitteen näytöllä edistävät työturvallisuutta. CBAPro -sovelluksella saatavat mittaustulokset nopeuttavat toimistolla tehtävää työtä sekä yksinkertaistavat mittauspöytäkirjojen tekemistä.

8.2 Opinnäytetyöstä opittua

Opinnäytetyön aloittamisen aikaan en tiennyt juuri mitään katkaisijoista tai niiden kunnossapitomittauksista. Useiden kirjojen ja artikkeleiden lukemisen jälkeen sekä usean viikon harjoittelun jälkeen CBA 3000 -mittalaitteella ammattitaitoni katkaisijoiden parissa on kasvanut huomattavasti. Nyt minulla on kattava kuva siitä, miten kunnossapitomittauksia suoritetaan katkaisijoille sekä millaisia mittaustuloksia tulisi odottaa.

Opinnäytetyön ohessa opin myös paremmin etsimään tietoa sekä jalostamaan sitä opinnäytetyöhöni. Erityistä ongelmaa tuotti se, että suurin osa lähteistä olivat englannin kielellä ja tiedon muuttaminen suomen kielelle oli hankalaa. Työn edetessä myös sähkötekniinen englannin kielen osaamiseni kehittyi merkittävästi.

Työn aikana opin myös toimimaan eri toimijoiden kanssa paremmin sekä organisoidaan projektin etenemistä tehokkaasti. Pääsin myös hyödyntämään koulussa oppimiani tietoja opinnäytetyön tekemisessä.

Uskon opinnäytetyön tekemisen aikana saamani ammattitaidon katkaisijoiden kunnossapidosta hyödyttävän minua tulevaisuudessa työelämässä.

LÄHTEET

ABB AB High Voltage Products. 2012. High voltage CO2 circuit breaker type LTA Enhancing eco-efficiency Ed 1. Viitattu 17.11.2016. <https://www02.abb.com/>

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

Biotti, L. 2014. Application guide for the circuit breaker analyzer and microohmmeter mod. CBA2000. Viitattu 1.3.2017. <https://www.isatest.com/>

Brikci, F. 2002. Circuit Breaker Timing Tests. Viitattu 16.1.2017. <http://www.netaworld.org/>

Elovaara, J. & Haarla, L. 2011. Sähköverkot 2, Verkon suunnittelu, järjestelmät ja laitteet. Helsinki: Otatieto.

Empower Oy:n www-sivut. 2016. Viitattu 9.11.2016. <https://www.empower.eu/web/fi/>

Empower PN Oy. 2017. Empower PN Oy services for substations and wind farms. Empower PN Oy:n intranet. Vain sisäiseen käyttöön.

Grigsby, L. 1998. The Electric Power Engineering Handbook. CRC Press.

ISA Advanced Test & Diagnostic Systems:n www-sivut. 2017. Viitattu 28.2.2017. <https://www.isatest.com/>

Laitinen, T. 2017. Fingrid Oyj. Puhelinhaastattelu 2.3.2017. Haastattelijana Jarkko Ylitalo. Muistiinpanot haastattelijan hallussa.

Lajunen, P. Yksikön päällikkö. 2017. Empower PN Oy. Harjavalta. haastattelu 6.3.2017. Haastattelijana Jarkko Ylitalo. Muistiinpanot haastattelijan hallussa.

Megger Group Limited. 2012. Circuit Breaker testing guide.

Nenning, A. 2014. Interpreting the results of circuit breaker analysis. Viitattu 18.1.2017. <https://www.omicronenergy.com/>

Secic, A. & Milovic, B. 2014. Dynamic Resistance Measurement for Circuit Breakers Applying high DC current. Viitattu 17.1.2017. <http://www.amforum.org/>

Sepcic, A. Aluepäällikkö. 2017. ISA Advanced Test & Diagnostic Systems. Harjavalta. Haastattelu 23.2.2017. Haastattelijana Jarkko Ylitalo. Muistiinpanot haastattelijan hallussa.

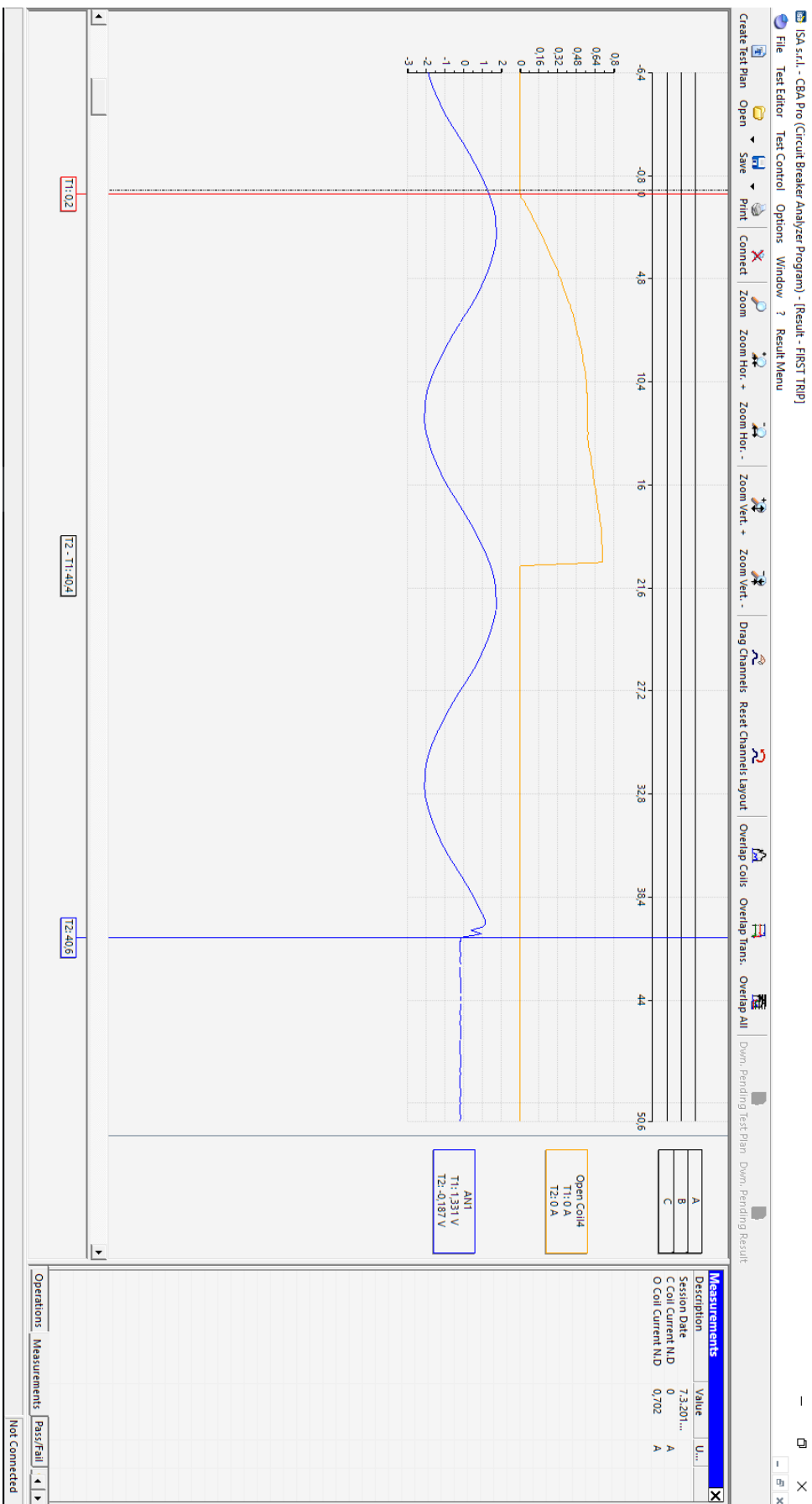
Skelton, M. The Current Method of Testing Circuit Breakers. Viitattu 19.1.2017. <https://www.netaworld.org/>

Stanisic, Z. 2011. Method for Static and Dynamic Resistance Measurements of HV Circuit Breaker. Viitattu 17.1.2017. <https://www.researchgate.net/>

Yleistiedot:		Laji:	Valm n:o:	Ohjain:	Valm n:o:	Valmistaja:	Valm. Vuosi:					
L1												
L2												
L3												
Ylimenovastusmittaus [mΩ]:							Mittausvirta: 300A J - J = Jomppi - Jomppi					
L1	Katkaisija	J - J	L2	Katkaisija	J - J	L3	Katkaisija	J - J				
Ennen:			Ennen:			Ennen:						
Jälkeen:			Jälkeen:			Jälkeen:						
Toiminta-ajat [ms]:						Laskuri:						
L1		L2		L3		Ennen		Jälkeen				
Kiinni:		Kiinni:		Kiinni:		L1						
Auki 1:		Auki 1:		Auki 1:		L2						
Auki 2:		Auki 2:		Auki 2:		L3						
O - C - O:		O - C - O:		O - C - O:								
Magneettinen toiminta [VDC]:				Viritysmoottori:			Kelapiirin vastus [mΩ]:					
	U _n	Auki 1	Auki 2	Kiinni	I _n	I _{max}	Viritysaika	Kiinni:	Auki 1:	Auki 2:		
L1												
L2												
L3												
Lämmitys/kuivaus [mΩ]:				SF ₆ Kaasunvalvonta/mittaus:								
	Vastus	Lisävastus	Yht.	Hälytys[Mpa]	Lukitus[Mpa]	Paine[Mpa]	Pitoisuus[%]	Kosteus[ppmV]	Palamist[so2]			
L1												
L2												
L3												
Huoltotoimenpiteet:				L1		L2		L3				
Katkaisupilarien:				Tark. <input checked="" type="checkbox"/>	Huolto <input type="checkbox"/>	Korj. <input type="checkbox"/>	Tark. <input checked="" type="checkbox"/>	Huolto <input type="checkbox"/>	Korj. <input type="checkbox"/>	Tark. <input checked="" type="checkbox"/>	Huolto <input type="checkbox"/>	Korj. <input type="checkbox"/>
Sammutuskammioiden:				Tark. <input type="checkbox"/>	Huolto <input type="checkbox"/>	Korj. <input type="checkbox"/>	Tark. <input type="checkbox"/>	Huolto <input type="checkbox"/>	Korj. <input type="checkbox"/>	Tark. <input type="checkbox"/>	Huolto <input type="checkbox"/>	Korj. <input type="checkbox"/>
Koskettimien				Tark. <input type="checkbox"/>	Huolto <input type="checkbox"/>	Korj. <input type="checkbox"/>	Tark. <input type="checkbox"/>	Huolto <input type="checkbox"/>	Korj. <input type="checkbox"/>	Tark. <input type="checkbox"/>	Huolto <input type="checkbox"/>	Korj. <input type="checkbox"/>
Aukiohjausvaimentimien:				Tark. <input checked="" type="checkbox"/>	Huolto <input type="checkbox"/>	Korj. <input type="checkbox"/>	Tark. <input checked="" type="checkbox"/>	Huolto <input type="checkbox"/>	Korj. <input type="checkbox"/>	Tark. <input checked="" type="checkbox"/>	Huolto <input type="checkbox"/>	Korj. <input type="checkbox"/>
Kiinniohjausvaimentimien:				Tark. <input checked="" type="checkbox"/>	Huolto <input type="checkbox"/>	Korj. <input type="checkbox"/>	Tark. <input checked="" type="checkbox"/>	Huolto <input type="checkbox"/>	Korj. <input type="checkbox"/>	Tark. <input checked="" type="checkbox"/>	Huolto <input type="checkbox"/>	Korj. <input type="checkbox"/>
Katkaisupilarien akselitiivisteiden:				Tark. <input checked="" type="checkbox"/>	Huolto <input type="checkbox"/>	Korj. <input type="checkbox"/>	Tark. <input checked="" type="checkbox"/>	Huolto <input type="checkbox"/>	Korj. <input type="checkbox"/>	Tark. <input checked="" type="checkbox"/>	Huolto <input type="checkbox"/>	Korj. <input type="checkbox"/>
Muiden tiivisteiden:				Tark. <input checked="" type="checkbox"/>	Huolto <input type="checkbox"/>	Korj. <input type="checkbox"/>	Tark. <input checked="" type="checkbox"/>	Huolto <input type="checkbox"/>	Korj. <input type="checkbox"/>	Tark. <input checked="" type="checkbox"/>	Huolto <input type="checkbox"/>	Korj. <input type="checkbox"/>
Kaasuputkistot:				Tark. <input checked="" type="checkbox"/>	Huolto <input type="checkbox"/>	Korj. <input type="checkbox"/>	Tark. <input checked="" type="checkbox"/>	Huolto <input type="checkbox"/>	Korj. <input type="checkbox"/>	Tark. <input checked="" type="checkbox"/>	Huolto <input type="checkbox"/>	Korj. <input type="checkbox"/>
Jousiohjaimien:				Tark. <input checked="" type="checkbox"/>	Huolto <input type="checkbox"/>	Korj. <input type="checkbox"/>	Tark. <input checked="" type="checkbox"/>	Huolto <input type="checkbox"/>	Korj. <input type="checkbox"/>	Tark. <input checked="" type="checkbox"/>	Huolto <input type="checkbox"/>	Korj. <input type="checkbox"/>
Tiheysvahdit: A B C				Tark. <input checked="" type="checkbox"/>	Huolto <input type="checkbox"/>	Korj. <input type="checkbox"/>	Tark. <input checked="" type="checkbox"/>	Huolto <input type="checkbox"/>	Korj. <input type="checkbox"/>	Tark. <input checked="" type="checkbox"/>	Huolto <input type="checkbox"/>	Korj. <input type="checkbox"/>
Vaimennuskäyrien mittaus:				huom. _____								
Toiminta-aikojen mittaus:				huom. _____								
Koekäyttö:				huom. _____								
Huomautuksia: _____												

Huollon suorittaja: _____												
Aika ja paikka: _____				Käsittelijä: _____								

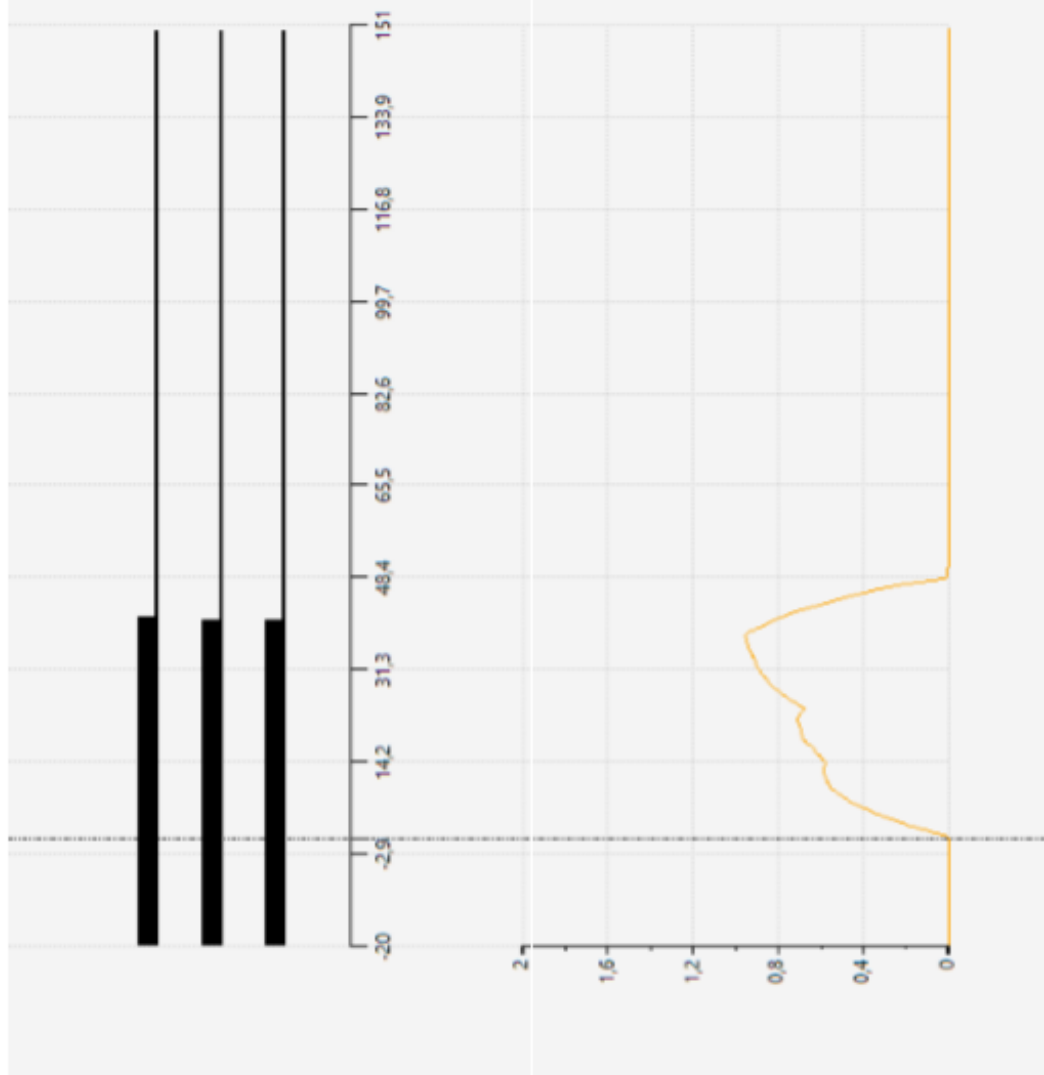
LIITE 3



Sequence 0

A
B
C

Open Coil4



Approval : _____

Print Date : _____

Header : Serial Number :

Notes : 7.3.2017

10.52.14

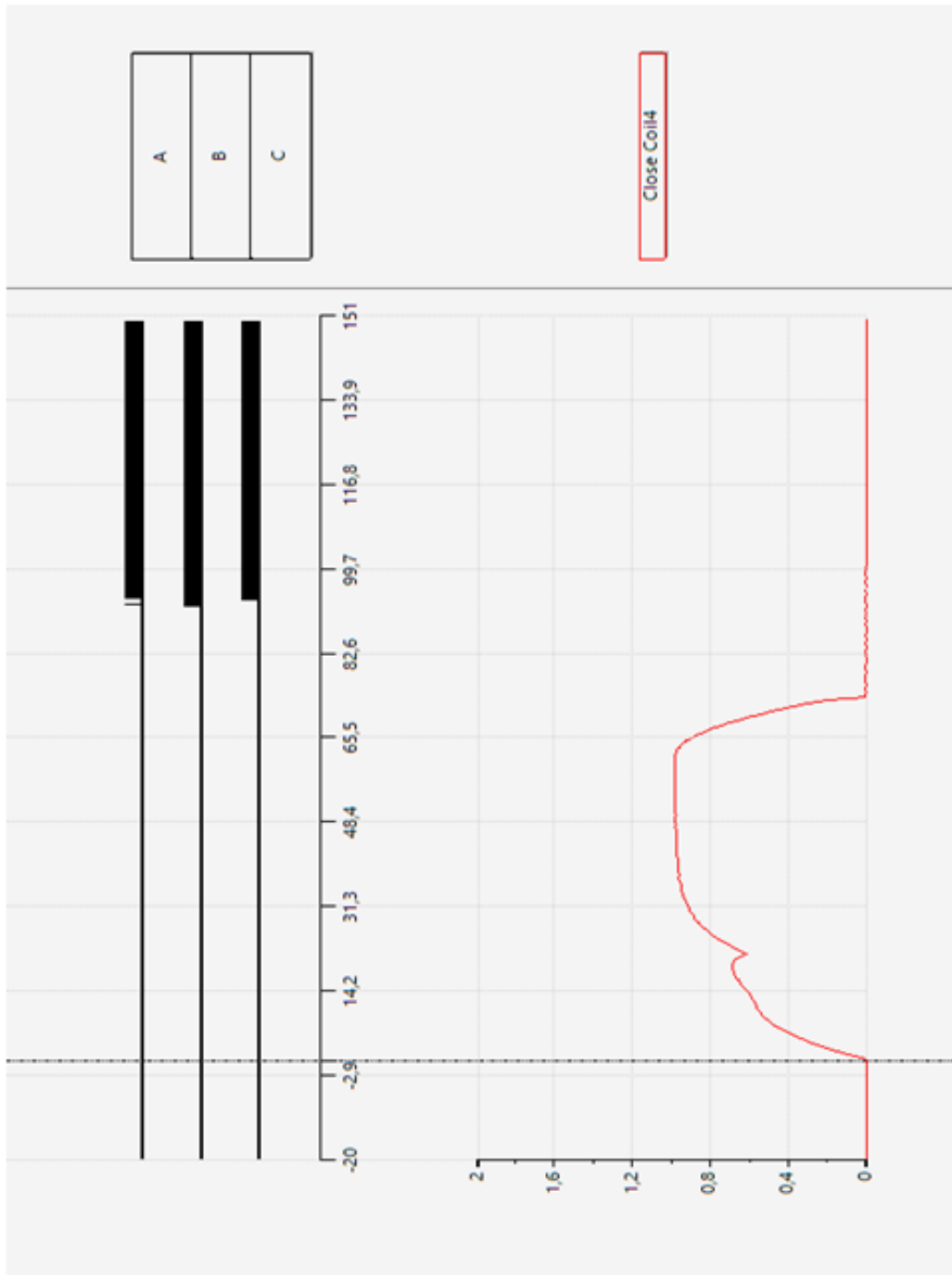
Results

Code	Description	Value	Pass/Fail
121	C Coil Current N.D	0.000 A	
120	O Coil Current N.D	0.954 A	
220	Open Time A1	40.900 ms	
229	Open Time A Def	40.900 ms	
230	Open Time B1	40.400 ms	
239	Open Time B Def	40.400 ms	
240	Open Time C1	40.200 ms	
290	Open Time C Def	40.200 ms	
210	O Pole Spread	0.700 ms	

Approval : _____

Print Date : _____

Sequence 0



Approval : _____

Print Date : _____

Header : Serial Number :

Notes : 7.3.2017

11.12.44

Results

Code	Description	Value	Pass/Fail
121	C Coil Current N.D	0.988 A	
120	O Coil Current N.D	0.000 A	
250	Close Time A1	93.500 ms	
259	Close Time A Def	93.500 ms	
260	Close Time B1	94.700 ms	
269	Close Time B Def	94.700 ms	
270	Close Time C1	95.100 ms	
291	Close Time C Def	95.100 ms	
211	C Pole Spread	1.600 ms	

Approval : _____

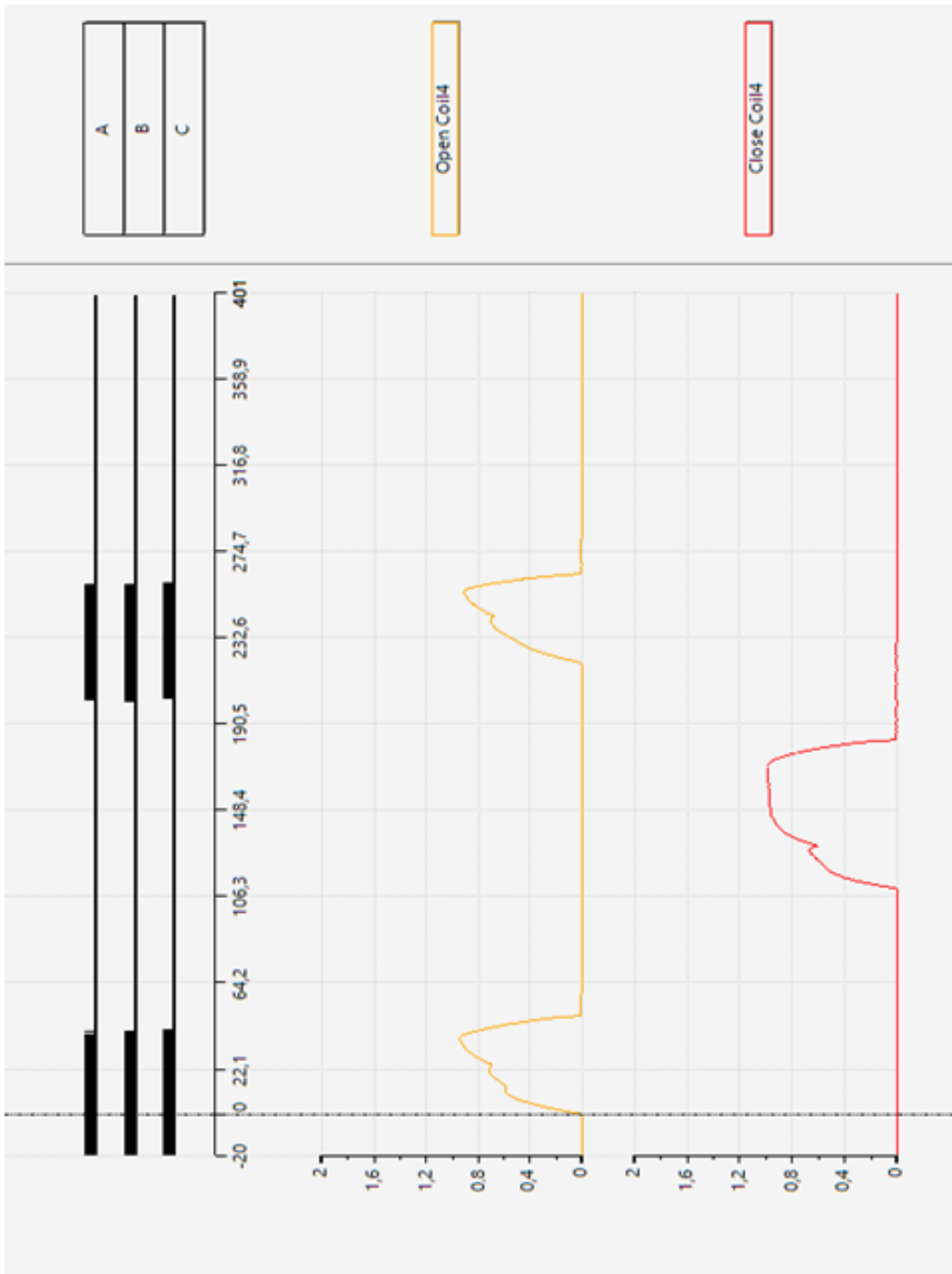
Print Date : _____

Header : Serial Number :

Notes : 7.3.2017

11.12.44

Sequence 0



Approval : _____

Print Date : _____

Header : Serial Number :

Notes : 7.3.2017

11.14.04

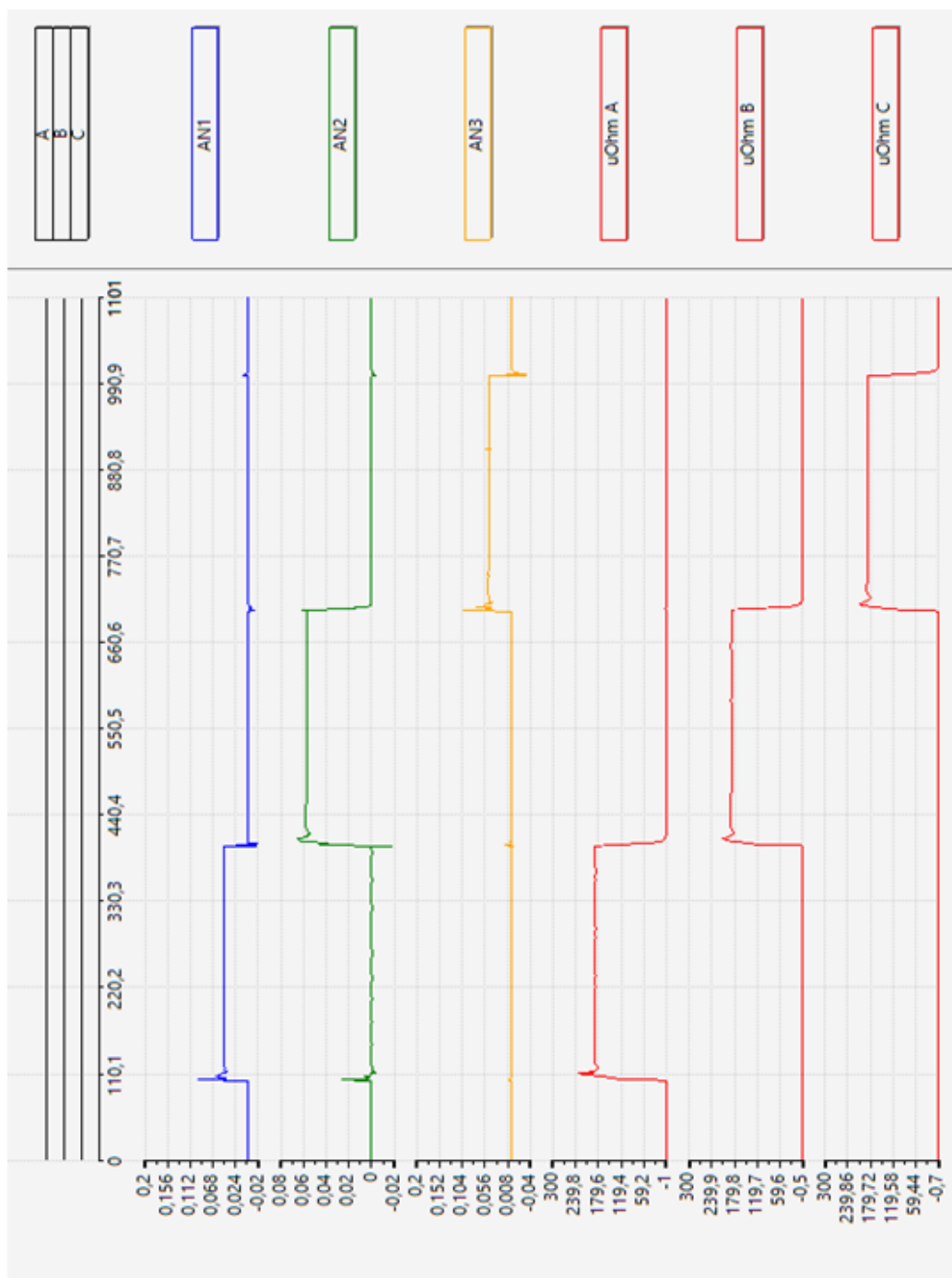
Results

Code	Description	Value	Pass/Fail
121	C Coil Current N.D	0.983 A	
120	O Coil Current N.D	0.951 A	
250	Close Time A1	91.000 ms	
220	Open Time A1	40.200 ms	
900		38.100 ms	
259	Close Time A Def	91.000 ms	
229	Open Time A Def	40.200 ms	
260	Close Time B1	91.400 ms	
230	Open Time B1	40.700 ms	
910		38.100 ms	
269	Close Time B Def	91.400 ms	
239	Open Time B Def	40.700 ms	
270	Close Time C1	92.300 ms	
240	Open Time C1	41.000 ms	
920		38.600 ms	
291	Close Time C Def	92.300 ms	
290	Open Time C Def	41.000 ms	
210	O Pole Spread	0.800 ms	
211	C Pole Spread	1.300 ms	

Approval : _____

Print Date : _____

Sequence 0



Approval : _____

Print Date : _____

Header : Serial Number :

Notes : 7.3.2017

11.25.56

Results

Code	Description	Value	Pass/Fail
310	Resistance A1	250.004 uOhm	
330	Resistance B1	305.653 uOhm	
350	Resistance C1	259.959 uOhm	

Approval : _____

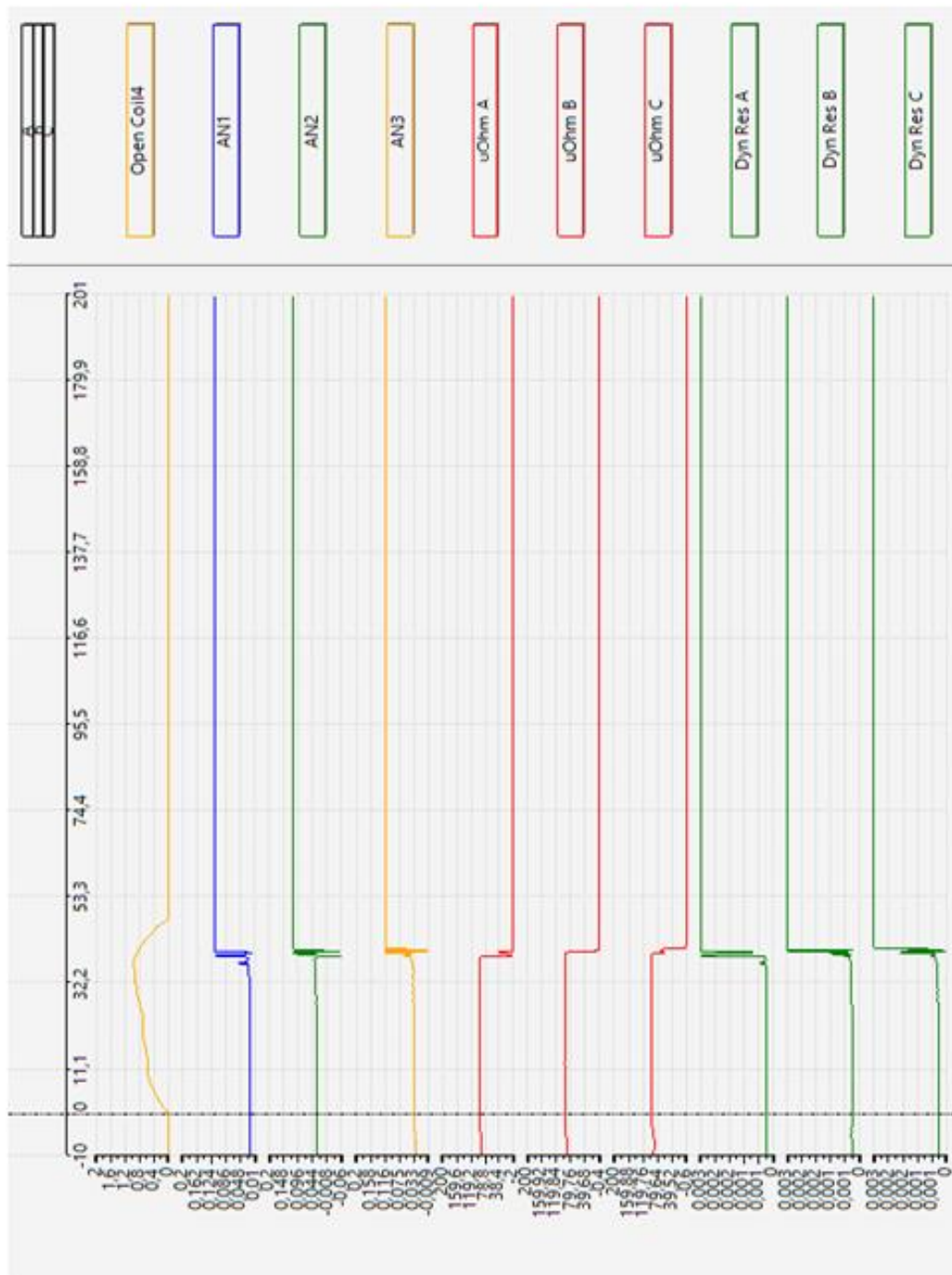
Print Date : _____

Header : Serial Number :

Notes : 7.3.2017

11.25.56

Sequence 0



Approval : _____

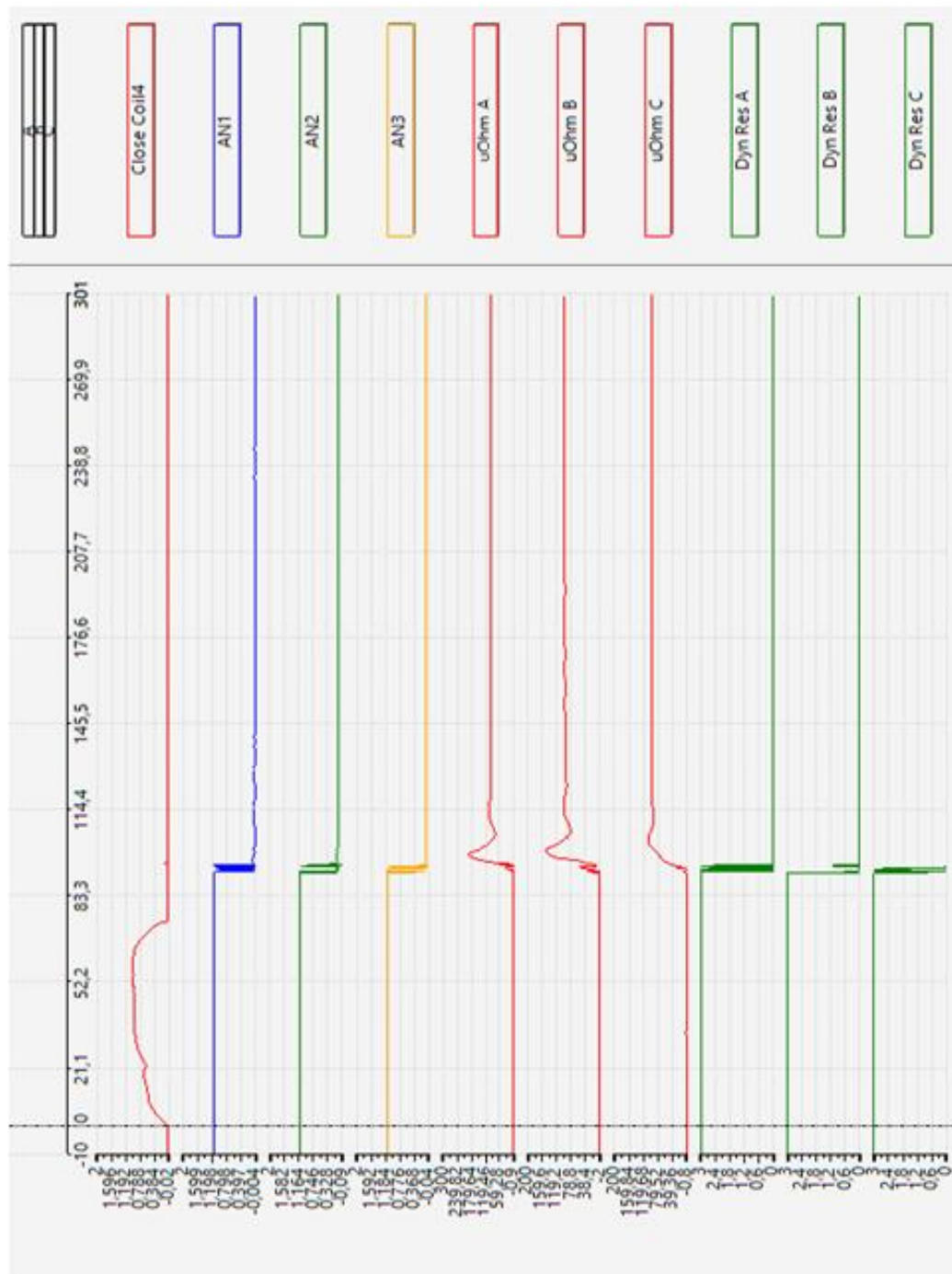
Print Date : _____

Header : Serial Number :

Notes : 7.3.2017

11.27.47

Sequence 0



Approval : _____

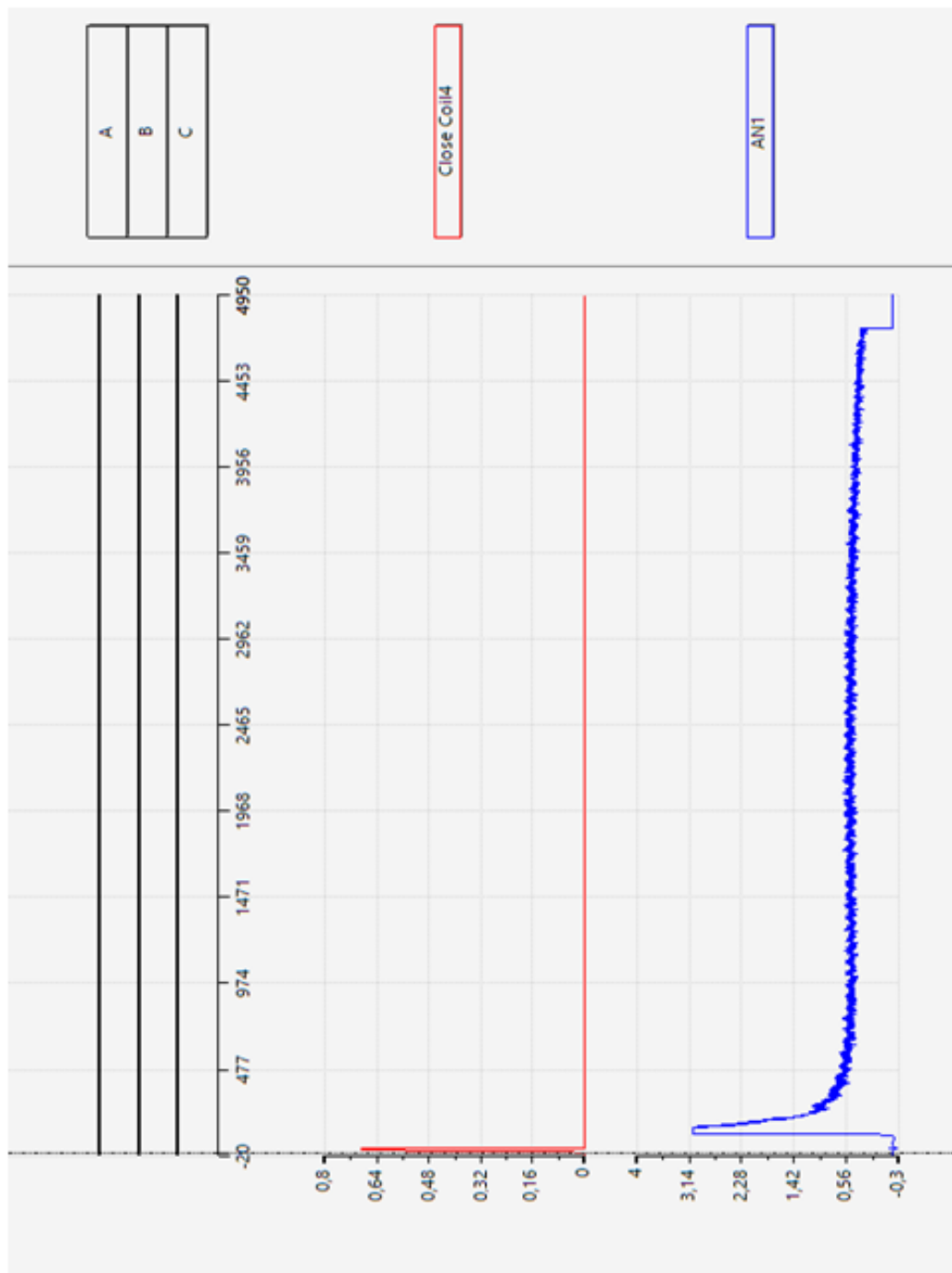
Print Date : _____

Header : Serial Number :

Notes : 7.3.2017

11.29.18

Sequence 0



Approval : _____

Print Date : _____

Header : Serial Number :

Notes : 7.3.2017

11.30.06