



Osaamista  
ja oivallusta  
tulevaisuuden  
tekemiseen

Pyry Aho

# Laivan pääjakokeskusten käyttöönotto- prosessi

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikka

Insinöörityö

27.5.2019

Tekijä Otsikko	Pyry Aho Laivan pääjakokeskusten käyttöönottoprosessi
Sivumäärä Aika	35 sivua + 2 liitettä 27.5.2019
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Sähkö- ja automaatiotekniikka
Ammatillinen pääaine	Sähkövoimatekniikka
Ohjaajat	Lehtori Tuomo Heikkinen Käyttöönottopäällikkö Pekka Sormunen
<p>Insinööriyön aiheena on laivan pääjakokeskusten käyttöönottoprosessin kuvaus, jonka pohjalta toteutettiin yleispätevä työohje käyttöönottoprosessin selkeyttämiseksi ja tueksi. Työohjetta soveltamalla toteutetaan kaikkien jakokeskusten perustoimintojen käyttöönotto. Insinööriyö toteutettiin Arctech Helsinki Shipyardin sähkövarusteluosaston toimeksianosta.</p> <p>Insinööriyössä käsitellään yleisesti laivan sähköverkon rakennetta, eri jännitetasojen keskusten sijaintia ja tarkoitusta sähköverkossa, sekä keskusten käyttöönottoprosessia työn teon hetkellä rakenteilla olleen laivan esimerkkien avulla. Insinööriyössä käydään lävitse erityyppiset käyttöönottomittaukset ja vaadittavat tarkastukset, jotta kohdataan sähköturvallisuuslain, luokituslaitoksen ja laivan tilaajan määrittelemät ja vaatimat tavoitteet sähkölaitteiston turvallisuudelle ja käyttöönotolle.</p> <p>Insinööriyön ja sen pohjalta kootun työohjeen avustuksella, saadaan käyttöönottoprosessia tehostettua, laatua parannettua, sekä yhtenäiset toimintatavat riippumatta keskuksen toimittajasta, asentajasta tai käyttöönottajasta. Lisäksi työohje on helposti muunneltavissa projekti- tai laitekohtaiseksi ohjeeksi.</p>	
Avainsanat	Pääkeskus, katkaisija, käyttöönottomittaukset

Author Title	Pyry Aho Commissioning process of main switchboards in ships
Number of Pages Date	35 pages + 2 appendices 27 May 2019
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical and automation engineering
Professional Major	Electrical power engineering
Instructors	Tuomo Heikkinen, Senior Lecturer Pekka Sormunen, Commissioning Manager
<p>The subject of the thesis is the description on the commissioning of a ship's switchboards, based on this description a universally applicable work instruction was implemented for clarifying and supporting the commissioning process. By applying the work instruction, all commissioning of the basic functions of all switchboards are to be implemented. The thesis was assigned by Arctech Helsinki Shipyard Ltd's electrical outfitting department.</p> <p>The thesis discusses the structure of the ship's electrical network in general, location and purpose of the different type of switchboards in the grid and the commissioning process of switchboards using examples from the ship which was under construction at the time of the thesis. The thesis also involves the process of various commissioning measurements and required inspections to meet the objectives and requirements of the Electrical Safety law, the Classification Society and the Ship's owner to assure the safety and proper commissioning of electrical equipment.</p> <p>With the help of this thesis and the compiled work instruction the commissioning process is enhanced, improved in quality, and unified practices, irrespective of the supplier, installer or the commissioning technician of the switchboard. In addition, the work instruction is easily customizable into a project or device specific instruction.</p>	
Keywords	Main switchboard, circuit breaker, commissioning measurements

# Sisällys

## Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Sähköverkon rakenne	2
3	Ennen koekäyttöä tehtävät toimenpiteet	7
3.1	Tehdaskoe (Factory Acceptance Test, FAT)	8
3.2	Sähköasennusten tarkastus	11
3.3	Fyysinen asennus	13
3.4	Mittaukset	16
4	Koekäytön aikana tehtävät toimenpiteet	22
4.1	Katkaisijat	22
4.2	Hälytykset ja mittaustiedot	27
4.3	Generaattorin tahdistus	28
4.4	Mittaukset	30
5	Käyttöönotto- ja järjestelmätarkastus	33
6	Yhteenveto	33
	Lähteet	35
	Liitteet	

Liite 1. MS11-keskuksen katkaisijan 5Q1-piirikaavio

Liite 2. MS11- ja MS12-keskusten välikatkaisijan 1Q1-piirikaavio

## Lyhenteet

DG	Diesel Generator. Generaattori, joka tuottaa sähkön laivan järjestelmille, generaattoria pyörittää dieselkäyttöinen moottori.
EDG	Emergency Diesel Generator. Häätätilanteessa käytettävä generaattori, joka tuottaa sähkön laivan häätätilanteessa käytettäville kulutuskohteille.
ES	Emergency Switchboard. Hätäjakokeskus, joka jakaa sähkön tärkeimmille ja häätätilanteessa tarvittaville 400V ja 230V kulutuskohteille.
FAT	Factory Acceptance Test. Tilaajan, luokituslaitoksen ja laitetoimittajan kanssa järjestettävä tehdaskoe, jossa testataan laitteen toiminta.
HDG	Harbour Diesel Generator. Satamassa käytettävä generaattori, joka tuottaa sähkön laivan pienjännitekulutuskohteille.
IAS	Integrated Automation System. Laivan automaatiojärjestelmä, jolla hallitaan laivan eri järjestelmiä.
MS	Main Switchboard. Pääjakokeskus, joka jakaa sähkön 400V ja 230V kulutuskohteille.
PS	Propulsion Switchboard. Laivan propulsiokojeisto. Jakaa generaattoreiden tuottaman sähkön isoille keskijännite kulutuskohteille, sekä jakelumuuntajille.
UPS	Uninterruptible Power Supply. Laite, joka takaa tasaisen tehonsyötön herkille laitteille sähkökatkon aikana tai sähkön ollessa huonolaatuista.

## 1 Johdanto

Insinööri työ on tehty Arctech Helsinki Shipyardin sähkövarusteluosaston toimeksiantosta loppuvuodesta 2018. Telakalla rakennettiin työn teon hetkellä arktisissa vesissä operoimaan kykenevää tankkeria kreikkalaiselle laivanvarustamo Dynacomille. Työn perustana on käytetty yhdentyypistä alusta, mutta siitä huolimatta on yritetty hakea erilaisia näkökulmia myös ulkopuolisista lähteistä, eikä mitään aiheita ole haluttu pitää itseltään selvinä.

Insinööri työ tavoite oli selventää ja dokumentoida käyttöönottoprosessi laivan sähköjakelujärjestelmästä ja näin parantaa laatua, sekä nopeuttaa ja selkeyttää käyttöönottoprosessia. Paremmen kokonaiskuvan saavuttamiseksi avataan myös käyttöönoton taustalla olevia suunnitelmia sekä suoja- ja toimintalaitteiden valintaa ja toimintaa.

Käyttöönottoa tehtäessä päädytään usein niin sanotusti rutiininomaiseen suorittamiseen, jolloin prosessi tapahtuu itsestään työn edetessä, eikä kunnolla pysähdytä miettimään miten ja miksi tietyt asiat tehdään missäkin vaiheessa. Tästä syystä työn tavoitteena on luoda yleispätevä työhöje Helsingin telakalle, jota käytetään sähköjakelujärjestelmän pää- ja jakokeskusten käyttöönoton tukena ja saada aikaan laaja katsaus keskusten käyttöönoton eri toimenpiteistä.

## 2 Sähköverkon rakenne

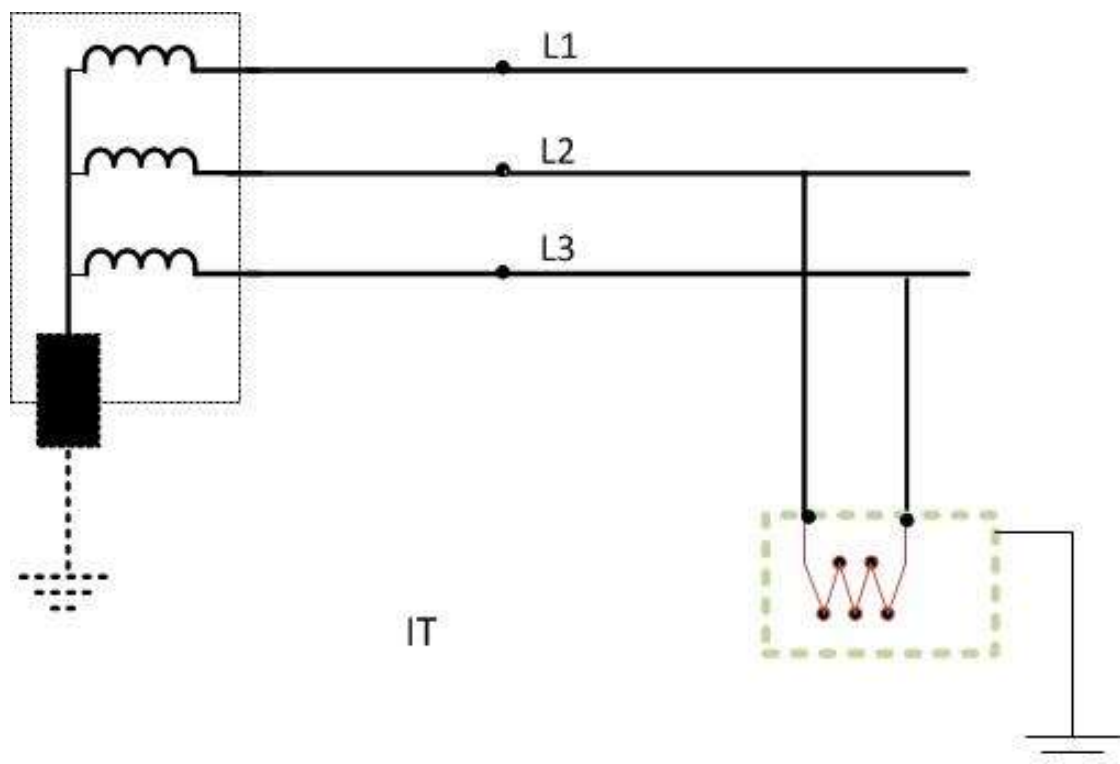
Laivojen sähköverkon rakenne on pääpiirteittäin hyvin samanlainen kuin maasähköverkko. Laivoilla on omat voimalaitoksensa, joista sähkö jaetaan kojeistojen ja jakokeskusten sekä muuntamoiden kautta loppukulutuskohteille. Sähkö tuotetaan pääsääntöisesti dieselgeneraattoreilla. Sähköverkko koostuu yleisesti kolmesta eri jännitetasosta, voimalaitos, voimanjakelu ja valaistus. Voimalaitospuoli sisältää generaattorit ja laivan suuritehoiset kulutuskohteet kuten propulsio-järjestelmän, jännitteen suuruus on voimalaitoksessa tyypillisesti 3300 V tai 6600 V. Voimanjakelu sisältää kaikki laivan keskikoiset kolmivaiheiset kulutuskohteet, kuten esimerkiksi pumput, moottorit, nosturit ja voimalaitoksen apulaitteet. Voimanjakelun jännite on tyypillisesti 400 V tai 690 V. Valaistusverkkoon kuuluu laivan kaikki valaistukset, lämmittimet, ilmastointi, pienet sähkö- ja apulaitteet, jännitteen suuruus on tyypillisesti 230 V. Lisäksi voimanjakelu ja valaistusverkkoon kuuluvat laivan tärkeimmät ja hätätilanteessa tarvittavat laitteet kuten UPS-, navigointi- ja hätävalaistusjärjestelmät. Hätäjakokeskuksia eli ES-keskuksia (engl. Emergency Switchboard) syötetään normaalissa tilanteessa pääjakokeskuksista eli MS-keskuksista (engl. Main Switchboard), mikäli normaali sähkönjakelu ei ole mahdollista, voidaan ES-keskuksia syöttää hätädieselgeneraattorilla eli EDG:llä (engl. Emergency Diesel Generator). (Sormunen 2018.)

Laivan sähköverkkoa käytetään normaalitilanteessa säteittäisenä eli silmukoinnin mahdollistavat katkaisijat ovat tällöin auki. Verkon ollessa säteittäinen saadaan tehtyä jännitteensäädöstä ja suojauksien toteuttamisesta helpompaa ja yksinkertaisempaa verrattuna silmukoituun verkkoon, säteittäinen käyttö lisäksi rajoittaa häiriöiden leviämistä ja pienentää oikosulkuvirtoja. Laivan verkko on myös keskeisimmiltä osiltaan luokituslaitoksen vaatimusten mukaan kahdennettu, jolloin sähkönjakelu onnistuu yksittäisessä viikatilanteessa tai huoltoja suoritettaessa useampaa kautta keskusten välikatkaisijoiden kautta. (Sormunen 2018.)

Laivan ollessa satamassa käytetään nykyään isoissa laivoissa yleisesti satamadieselgeneraattoria tai maasyöttökeskusta. Satamageneraattori eli HDG (engl. Harbour Diesel Generator) on siis päägeneraattoreita pienempi generaattori, joka on yhdistetty suoraan MS-keskukseen ja sillä voidaan tuottaa tarvittava sähkö laivan voimanjakelu- ja valaistusverkkoon paremmalla hyötysuhteella kuin päägeneraattoreilla. Maasyöttökeskus on erillinen keskus, joka on yhdistetty eri MS-keskukseen kuin HDG. Keskus sijaitsee laivan

kannella ja keskukseen kytketään maasyöttökaapelit, joiden kautta voidaan yhdistää laivan sähköverkko sataman omaan sähköverkkoon. (Sormunen 2018.)

Helsingin telakka käyttää vakiintuneena ratkaisuna rakentamissaan laivoissa IT-järjestelmää, eli niin kutsuttua kelluvaa verkkoa, jossa generaattoreiden tähtipiste on yhdistetty isojen impedanssien kautta laivan runkoon, eli maahan. IT-järjestelmällä mahdollistetaan katkeamaton sähkönsyöttö ja maavuotojen tarkkailu, joka on oleellinen arvo tarkkailla, koska yksittäinen maavuoto ei vielä aiheuta toiminnan katkeamista. Yhdistämällä generaattorin tähtipiste impedanssin kautta laivan runkoon saadaan myös vikatilanteessa syntyvä maasulkuvirta pienemmäksi. Helsingin telakan IT-järjestelmässä ei ole paluujohtinta, jonka vuoksi kaikkia sähkölaitteita syötetään vaiheiden välisellä jännitteellä. Kaikki jännitteelle alttiit osat ovat erikseen maadoitettu laivan runkoon. IT-järjestelmän huonoja puolia on, että verkon eristyksen taso on oltava suuri ja jatkuva huolto- ja valvontavalmius vianpaikannusta ja -korjausta varten, laivaympäristössä tosin tämä ei tuota ongelmaa, sillä laivassa on aina henkilökuntaa paikalla. (Harsia 2013.)



Kuva 1. IT-järjestelmä. (Harsia 2013.)





Kuvassa 2 on esitetty tyypillinen tankkerin sähkönjakelun pääkaavio. Kuten edellä jo mainittiin, on sähköverkko kahdennettu kriittisiltä osiltaan. Kyseisessä projektissa, johon tämä opinnäytetyö pohjautuu, valikoitui päägeneraattoreiden jännitteeksi 6600 V ja taajuudeksi 60Hz, generaattoreiden maksimi pätötehon tuotto on yhteensä noin 30 MW, josta propulsiojärjestelmän osuus on 22 MW. Voimanjakelun jännite 440 V ja valaistusverkon jännite 230 V, MS-keskusten yhteenlaskettu kokonaisteho on noin 6000 kW, mutta tilannetta, jossa kaikki kulutuskohteet olisivat saman aikaisesti täydellä teholla toiminnassa ei tule tapahtumaan. Normaalisissa operointi tilanteessa on MS-keskusten huipputeho noin 1000–2000 kW. Kokonaistehosta on passiivisen kuorman osuus yli 90 %, eli noin 5400 kW ja häiriöitä aiheuttavan kuorman, kuten taajuusmuuttaja ohjattujen pumppujen ja moottoreiden osuus 540 kW. Tankkerilla on omat lastinkäsittelyn jakokeskukset, CS1 ja CS2 (engl. Cargo Switchboard), joihin on liitetty kaikki lastinkäsittelyssä käytetyt ja sähköverkkoon häiriöitä aiheuttavat pumput ja moottorit, näin saadaan varmistettua MS-keskusten sähkön laatu mahdollisimman häiriöttömäksi.

MS-keskuksia syötetään kahdella identtisellä muuntajalla T3 ja T4. Muuntajilla muutetaan jännitetaso 6600 V:sta 440 V:iin, näennäisteho yhdellä muuntajalla on 2000 kVA. Kahdennetun verkon rakenteen vuoksi, voidaan voimanjakelu- ja valaistuskeskuksia syöttää useampaa kautta, esimerkiksi jos muuntajalle T3 halutaan tehdä huoltotoimenpiteitä, voidaan kytkeä MS11–MS12 välikatkaisijat kiinni ja samanaikaisesti avata T3-katkaisija MS11-keskuksesta, tällöin T4:n kautta syötetään koko laivan voimajakelu- ja valaistusverkkoa, jonka jälkeen voidaan muuntaja T3 ottaa jännitteettömäksi PS1-kojeistosta.

MS11-keskukseen on kytketty satamassa oloa varten satamadieselgeneraattori HDG. Generaattorin näennäisteho on 870 kVA, ja sillä voidaan syöttää voimanjakelu- ja valaistusverkkoja huomattavasti tehokkaammin kuin päägeneraattoreilla. Satamassa ollessa on laivan sähköinen kuorma melko pieni, sillä suuritehoiset propulsiomoottorit eivät ole käytössä. Vaihtoehtoisesti voidaan myös käyttää satamassa ollessa MS12-keskukseen kytkettyä maasyöttökeskusta SC1. Maasyöttökeskusta käytetään yleensä vain, jos laivan on tarkoitus olla satamassa pidempiä aikoja, sillä paksujen maasyöttökaapeleiden kytkentä ja vetäminen on melko työlästä. Tässä projektissa haluttiin maasyöttökeskusten toimivan sekä 380 V/50 Hz:n, että myös 440 V/60 Hz:n sähköverkoissa, joten maasyöttökeskus tarvitsi oman taajuusmuuttajan FC1 ja muuntajan T61, joiden avulla nostettiin taajuus ja jännite laivan sähköverkon nimellisarvoihin.

Voimanjakelun MS-keskusten kulutuskohteina on mm. ilmastoinnin puhaltimien ohjauskeskukset VMC1 ja VMC2, moottoreiden ohjauskeskukset MCC1 ja MCC2 sekä lämmitys- ja sulanapitokeskukset DHB051–DHB091. Voimanjakelun MS-keskukset syöttävät lisäksi kumpikin omaa valaistusverkon muuntajaa T21 ja T22, joilla muutetaan 440 V:in jännitetaso 230 V:iin, kumpikin ”valaistusmuuntaja” on näennäistehoaltaan 200 kVA. Tässäkin jännitetasossa voidaan jompikumpi muuntajista ottaa pois käytöstä esim. huolto- toimenpiteiden ajaksi, samaan tapaan kuin T3 ja T4.

Valaistusverkon MS-keskusten kulutuskohteina on valaistus- ja lämmityskeskukset, sekä pienitehoiset kulutuskohteet, kuten esimerkiksi kauko-ohjattujen venttiilien ohjauskeskus ja nostureiden apulaitteet.

Hätäjakokeskusta ES1 syötetään normaalisti joko MS11- tai MS12-keskuksesta, katkaisijat 6Q1 ja 2Q1 ovat keskenään lukittu, tällä lukituksella estetään samanaikainen katkaisijoiden toiminta, eli mikäli ES1-keskusta syötetään MS11-keskuksen 2Q1-katkaisijan kautta, lukitus estää MS12-keskuksen 6Q1-katkaisijan kytkemisen kiinni. Lukitus on toteutettu katkaisijoiden apukoskettimien, sekä keskuksen kontaktoreiden ja aikareleiden avulla. Telakalla käytetään vakiintuneena sanontana ”lukitusta”, mutta apukoskettimien avulla toteutettua toimintaa kutsutaan usein myös nimellä ”ehdollinen toiminta”, tällöin katkaisijan toiminta on riippuvainen muiden katkaisijoiden ja niiden apukoskettimien asennoista.

Hätäjakeluverkko on pääjakeluverkon tapaan jaettu voimanjakelu- ja valaistusverkkoihin. Voimanjakelukeskuksen ES1 jännite on 440 V ja valaistusverkon keskusten ES2 ja ES3 jännite on 230 V. Hätäjakeluverkkoa syötetään normaalissa tilanteessa MS-keskusten kautta, mutta hätätilanteessa tulee laivan pystyä toimimaan turvallisesti ja mikäli mahdollista palaamaan lähimpään satamaan, hälyttää apua tai jopa mahdollisesti evakuoida laiva. Tällaisia hätätilanteita varten on ES1-keskukseen kytketty hätädieselgeneraattori EDG. Generaattorin näennäisteho on 875 kVA ja sillä voidaan syöttää hätäjakeluverkkoa, mikäli se ei ole mahdollista normaalilla tavalla, esimerkiksi jos molemmat jakeluverkkoa syöttävät muuntajat T3 ja T4 sekä HDG ovat vioittuneet.

ES1-keskukseen on kytketty mm. hätätilanteessa tarvittavat lämmitykset ja pelastusveneiden nosto- ja laskulaitteet. Lisäksi ES1-keskukseen on kytketty ES2-keskusta syöttävä muuntaja T31, sekä ES3-keskusta syöttävä UPS-muuntaja UPS1T1 ja akusto.

Hätäjakokeskukseen ES2 on kytketty hätätilanteessa tarvittavat 230 V:n sähkölaitteet, kuten esimerkiksi hätägeneraattorin apulaitteet. ES2-keskusta voidaan syöttää myös tarvittaessa suoraan valaistusverkon keskuksesta MS22. ES3-keskukseen on kytketty hätävalaistusjakokeskukset ja pienitehoiset kulutuskohteet, kuten navigointilaitteet. ES3 on myös liitetty normaaliin valaistusverkkoon MS21:n kautta.

Tankkerin sähköverkko eroaa pääpiirteiltään normaaleista huolto- ja risteilyaluksista ainoastaan lastinkäsittelykeskusten CS1 ja CS2 osalta, sillä tankkeri on suunniteltu kuljetamaan, lastaamaan ja purkamaan todella suuria määriä polttoainetta, joka tässä tapauksessa on nestemäistä maakaasua eli LNG:tä (engl. liquified natural gas). Lastinkäsittelyn pumput ovat todella suuritehoisia ja niitä ohjataan taajuusmuuttajilla ja omasta lastinkäsittelyn valvontahuoneestaan. Taajuusmuuttajat luovat sähköverkkoihin harmonisia häiriöitä, jonka vuoksi molempiin lastinkäsittelykeskuksiin on lisätty harmoniset suodattimet HF1 ja HF2, jotka suodattavat tarvittaessa yliaaltoja verkosta. Molempia lastinkäsittelykeskuksia syötetään omilla, muiden jakelumuuntajien kanssa identtisillä muuntajillaan T1 ja T2. Olen rajannut näiden lastinkäsittelykeskusten taajuusmuuttajaohjattujen pumppujen käyttöönoton insinöörityön ulkopuolelle niiden laajuuden vuoksi, sillä tavoitteena työlläni oli luoda yleispätevä työohje kaikille erityyppisten laivojen keskusten käyttöönotolle.

### **3 Ennen koekäyttöä tehtävät toimenpiteet**

Ennen kuin ensimmäinen keskus voidaan ottaa koekäyttöön, tulee varmistua siitä, että laitteistoon on turvallista kytkeä sähkö. Tämä varmistetaan tekemällä alla olevien kohtien mukaiset tarkastukset ja mittaukset. Alaluvussa 3.1 käydään lävitse millaisia testejä ja tarkastuksia luokituslaitos vaatii keskuksille suoritettavan ennen niiden saapumista laite-toimittajalta telakalle. Alaluvut 3.2–3.4 kertovat lopullisen asennuksen jälkeen tehtävät tarkastukset ja mittaukset, jotka suoritetaan ennen sähkön kytkentää keskukseen. Pääpiirteittäin samat toimenpiteet suoritetaan jokaiselle keskukselle, kun ne otetaan koekäyttöön. Kaikki voimanjakelu- ja valaistusverkon keskukset otetaan koekäyttöön maasyötön ja muiden keskusten välikatkaisijoiden kautta.

### 3.1 Tehdaskoe (Factory Acceptance Test, FAT)

Tehdaskokeen tavoite on varmistua yhdessä tilaajan, luokituslaitoksen ja laitetoimittajan kanssa laitteiston vastaavan sille määritellyt vaatimukset ja toimintaperiaatteet. Tehdaskoe järjestetään yleensä laitetoimittajan tiloissa, joissa tehdään laitteelle vaadittavat testaukset ja tarkastukset. Tehdaskokeella pyritään varmistumaan siitä, että laitteisto ja kaikki sen komponentit ovat toiminnaltaan turvallisia, sekä laitteisto on sille laaditun erittelyn ja tilauksen mukainen, näin välttämään ikäviltä yllätyksiltä ennen laitteiston saapumista telakalle asennettavaksi. Tehdaskokeissa tehtävät testit ja tarkastukset saattavat vaihdella riippuen projektista sekä luokituslaitoksen ja tilaajan vaatimuksista, alla läpikäytyt testit ja tarkastukset ovat luokituslaitos Bureau Veritasin vähimmäismääräys keskuksille. Kaikki tehdaskokeet, jotka koskevat yli 100 kW:n tehoisia keskuksia, tulee suorittaa luokituslaitoksen läsnä ollessa. (Rules for the Classification of Steel Ships Part C 2018: 403.)

#### Laitteiston tarkastus

Tarkastuksella varmistetaan, että keskuksat

- ovat hyväksytyjen suunnitelmien ja piirustusten mukaiset
- ovat saavuttaneet ennalta määritellyn suojaustason
- on rakennettu vaadittavien rakennevaatimusten mukaisesti, erityisesti ilma- ja pintavälit.

Keskusten ja kiskojen liitännät, erityisesti ruuvatut tai pultatut liitännät, tarkastetaan riittävän kiinnityksen varmistamiseksi, tarvittaessa pistokokein. (Rules for the Classification of Steel Ships Part C 2018: 403.)

Tarkastukseen sisältyy keskusten visuaalinen tarkastus, jossa tarkastetaan, että keskusten fyysiset, mekaaniset ja sähköasennukset ovat kunnossa, kuten muun muassa

- pohja ja kiinnitykset
- ovet ja lukot
- runko
- maadoitus

- mittarit
- katkaisijat
- kiskot
- johdotukset.

Tarkastuksessa tulee myös varmistua siitä, että kyseisen keskuksen nimikyltin tiedot vastaavat suunnitelmissa ja erittelyssä annettuja tietoja. Tämä on erityisen tärkeää, sillä jokainen keskus on suunniteltu ja luokiteltu tiettyyn toimintaan, joten niitä ei voi käyttää muuhun tarkoitukseen, ellei laitetoimittaja ole erikseen sitä hyväksynyt.

Laitteiston tulee olla siisti ja kaikki irtomateriaali sekä mukana toimitettavat komponentit ja dokumentit tulee olla poistettu tehdaskokeen ajaksi keskuksista.

Tarkastuksessa myös varmistutaan, että keskuksen suojalaitteet, eli esimerkiksi katkaisijat ja sulakkeet ovat suunnitellun mukaiset, ja että ohjauspiirin jännite vastaa suunniteltua.

#### Toiminnan tarkastus

Riippuen keskuksen monimutkaisuudesta voi olla tarpeen suorittaa toiminnan varmistamiseksi toimintatesti. Toimintatestin sisältö ja erilaisten testien määrä riippuvat siitä, sisältääkö keskus monimutkaisia lukituksia tai ehdollisia toimintoja, automatiikkaa ja ohjauksia jne. Joissakin tapauksissa voi olla tarpeen suorittaa osittain, tai toistaa samat testit lopullisen asennuksen jälkeen. (Rules for the Classification of Steel Ships Part C 2018: 403.)

#### Ylijännitetesti

Ylijännitetestillä (Hi-Pot test) varmistutaan siitä, että sähköinen eristys ei ole missään vaiheessa vaurioitunut ja ilmavälit ovat riittävät. Onnistunut testi kertoo, että keskusta on turvallista käyttää sille suunnitellulla jännitteellä.

Testi tulee suorittaa vaihtojännitteellä ja taajuudella 25–100 Hz, suurin piirtein siniaallon muodossa.

Testijännite tulee kohdistaa

- kaikki vaiheet yhdistettynä yhteen, vasten maata
- jokainen vaihe erikseen vasten muita vaiheita, jotka ovat maahan yhdistettynä testin ajaksi.

Ylijännitetestin aikana kaikki keskukseseen kytketyt mittalaitteet, apulaitteet ja sähkölaitteet voidaan kytkeä irti ja testata erikseen vaatimusten mukaisin menetelmin.

Testijännitteen arvo kytkentähetkellä ei saa ylittää puolta (50 %), sen ennalta määritelystä arvosta. Jännite nostetaan tasaisesti muutaman sekunnin aikana huippuarvoonsa. Ennalta määritelty testijännite tulee ylläpitää yhden minuutin ajan. Testijännite pää- ja apupiireille valitaan taulukkojen 1 ja 2 mukaisesti. (Rules for the Classification of Steel Ships Part C 2018: 403.)

Taulukko 1. Ylijännitteen arvo pääpiireille. (Rules for the Classification of Steel Ships Part C 2018: 403.)

**Table 2 : Test voltages for main circuits**

Rated insulation voltage $U_i$ , in V	Test voltage a.c. (r.m.s.), in V
$U_i \leq 60$	1000
$60 < U_i \leq 300$	2000
$300 < U_i \leq 660$	2500
$660 < U_i \leq 800$	3000
$800 < U_i \leq 1000$	3500

Taulukko 2. Ylijännitteen arvo apupiireille. (Rules for the Classification of Steel Ships Part C 2018: 403.)

**Table 3 : Test voltage for auxiliary circuits**

Rated insulation voltage $U_i$ , in V	Test voltage a.c. (r.m.s.), in V
$U_i \leq 12$	250
$12 < U_i \leq 60$	500
$U_i > 60$	$2 U_i + 1000$ (at least 1500)

## Eristysvastusmittaus

Eristysvastusmittauksella varmistetaan siitä, että eristysvastuksen arvo on riittävä, eikä vaiheissa esiinny likaa, kosteutta tai vaurioita, jotka voisivat aiheuttaa vikatilanteen.

Eristysvastusmittaus tulee suorittaa välittömästi ylijännitetestin jälkeen, jotta voidaan selvittää eristysvastuksen todellinen arvo. Mittauksessa on käytettävä kyseiseen mittaukseen soveltuvaa eristysvastusmittaria, testijännitteen tulee olla vähintään 500 VDC. Eristysvastus kaikkien johtavien osien ja maan (lisäksi jokaisen vaiheen ja muiden vaiheiden) välillä tulee olla vähintään 1 M $\Omega$ . (Rules for the Classification of Steel Ships Part C 2018: 433.)

### 3.2 Sähköasennusten tarkastus

Ennen sähkön kytkentää keskuksen koekäyttöä varten tulee varmistua siitä, että keskuksen sähköasennukset on tehty noudattaen sähköasennusstandardeja ja sähkötuvalisuuslakia, sekä telakan omia työohjeita on noudatettu sähkö- ja laiteasennuksia suoritettaessa. Mikäli työohjeista tai suunnitelmista joudutaan pakottavista syistä poikkeamaan, on asiasta aina sovittava ennen muutokseen ryhtymistä yhdessä suunnittelun ja tuotannon välillä.

#### Kaapelointi

Kaapelit tulee olla vedettynä piirustuksien ja vetoluettelon mukaisesti, noudattaen vetoluettelossa olevia reittejä ja ryhmittelyä.

Kaapeleita asennettaessa tulee huomioida kaapelin pienin sallittu sisäpuolinen taivutussäde, jonka ohjearvona telakalla pidetään pyöreäjohtimisilla kaapeleilla kuusi kertaa kaapelin ulkohalkaisijan mittaa. Esimerkiksi PN3x6-kaapelin ulkohalkaisija on 13 mm, joten minimitaivutussäde kyseiselle kaapelille on tällöin 78 mm. Sektorijohtimisten kaapeleiden minimitaivutussäde on kahdeksan kertaa ulkohalkaisija. Taivutussäteitä tarkastessa on hyvä samalla katsoa, että kaapeleiden eristeet ovat kaikki ehjiä, eikä niissä näy vaurioita.



Laivoissa esiintyy erittäin paljon tärinää ja liikettä, joten on äärimmäisen tärkeää myös tarkastaa, että kaapelit on kiinnitetty kunnolla ja telakan työohjeen mukaisesti, eikä kaapelit ota kiinni teräviin kulmiin tai reunoihin.

Häiriöiden minimoimiseksi tulee heikko- ja vahvavirtakaapelit olla asennettu omiin nip-puihinsa telakan työohjeen mukaisesti. 1-johdin kaapeleista tehdään oma niputusohje aina projektikohtaisesti. Kaapeleiden tulee välttää turhaa risteilyä kaapeliradalla.

Kaapelit tulee olla merkattu metallisella, kytkentäkuvista löytyvillä kaapelitunnuksilla ja varakaapeleissa tulee olla merkintä esim. "spare" ja vetoluettelotunnus, jos mahdollista.

Keskusten kaapelikenkä- ja kiskoliitokset tulee olla kiristettynä oikean kiristysmomentin mukaisesti.

#### Maadoitus

Telakan kaapelointi ja sähköasennukset-työohjeen mukaan kaikki metallikuoriset sähkö-laitteet maadoitetaan aluksen runkoon, kun jännite ylittää 50 V AC/DC. Maadoitus on myös esitettävä kytkentäpiirustuksissa.

Sähkölaitteet maadoitetaan syöttökaapelin johtimella, kun johtimen poikkipinta-ala on 1,5–2,5 mm<sup>2</sup>. Kun maadoitus tehdään eristetyn johtimen kautta, käytetään keltavihreää eli KEVI-johdinta. Mikäli kaapelissa on useita samanvärisiä johtimia, tulee suojamaadoi-tus-johdin merkata KEVI-eristysletkulla. KEVI:ä käytetään ainoastaan maadoitukseen.

Keskusten maadoitus toteutetaan erillisellä kuparimaadoitusjohdolla, jonka poikkipinta-ala määräytyy syöttökaapelin poikkipinta-alan mukaan, taulukosta 3 tyyppi 3 "Separate fixed earthing conductor" vähimmäispoikkipinta-ala. Syöttökaapelin poikkipinnan ollessa yli 120 mm<sup>2</sup> käytetään siis 70 mm<sup>2</sup> poikkipinta-alaista maadoitusjohdinta. (Rules for the Classification of Steel Ships Part C 2018: 415.)

Taulukko 3. Maadoitusjohtimen poikkipinta-ala. (Rules for the Classification of Steel Ships Part C 2018: 415.)

Type of earthing connection		Cross-sectional area of associated current carrying conductor	Minimum cross-sectional area of copper earthing connection	
1	Earth-continuity conductor in flexible cable or flexible cord	any	Same as current carrying conductor up to and including 16 mm <sup>2</sup> and one half above 16 mm <sup>2</sup> but at least 16 mm <sup>2</sup>	
2	Earth-continuity conductor incorporated in fixed cable	any	a) for cables having an insulated earth-continuity conductor	
			<ul style="list-style-type: none"> <li>• a cross-section equal to the main conductors up to and including 16 mm<sup>2</sup>, but minimum 1,5 mm<sup>2</sup></li> <li>• a cross-section not less than 50% of the cross-section of the main conductor when the latter is more than 16 mm<sup>2</sup>, but at least 16 mm<sup>2</sup></li> </ul>	
			b) for cables with a bare earth wire in direct contact with the lead sheath	
			Cross-section of main conductor, in mm <sup>2</sup>	Earthing connection, in mm <sup>2</sup>
			1 ÷ 2,5 4 ÷ 6	1 1,5
3	Separate fixed earthing conductor	≤ 2,5 mm <sup>2</sup>	Same as current carrying conductor subject to minimum of 1,5 mm <sup>2</sup> for stranded earthing connection or 2,5 mm <sup>2</sup> for unstranded earthing connection	
		> 2,5 mm <sup>2</sup> but ≤ 120 mm <sup>2</sup>	One half the cross-sectional area of the current carrying conductor, subjected to a minimum of 4 mm <sup>2</sup>	
		> 120 mm <sup>2</sup>	70 mm <sup>2</sup>	

Keskukset koostuvat yleisesti useista yhteen hitsatuista tai pulttiliitoksilla kasatuista kokonaisuuksista tai kentistä, joten jokainen kokonaisuus tai kenttä on maadoitettava erikseen. Myös kenttien ovet ja luukut tulee olla maadoitettu keskuksen runkoon 2,5 mm<sup>2</sup> poikkipinnaltaan olevalla maadoitusjohtimella, mikäli oviin on asennettu sähkölaitteita. Keskuksien erillinen maadoitusjohdin tulee olla kytkettynä laivan runkoon tai runkoon yhteydessä olevaan rakenteeseen, hitsatun maadoitusliittimen kanssa. Maadoituspisteeseen tulee sijoittaa paikassa, josta sen voi tarkastaa helposti. Erittäin tärkeää on myös tarkastaa, että metalli on maadoituskohdissa puhdistettu hyvin. Maadoitusjohdin tulee olla niin asennettu, että sen vahingoittuminen on kohtuullisella tavalla estetty.

Mikäli työpiirustuksissa on esitetty kaapeleiden suojavaipan maadoitushäiriönpoistoa varten, tulee häiriösuojavaipan kytkeä maadoituskiskoon, suojavaipan tai vaippamaadoitusjohdin eristetään mustalla johdinsukalla.

### 3.3 Fyysinen asennus

Keskuksen fyysinen asennus ja kunto on myös hyvä tarkastaa ennen koekäyttöönottoa. Laitteistosta tulee ainakin tarkastaa

- kiinnitykset ja hitsaukset
- ovien kunto ja lukot
- mittarit
- kytkimet ja katkaisijat
- kosketussuojaus
- tuuletusluukut
- takapaneelit
- runko
- siisteys.

Keskukset tulee olla asennettu noudattaen telakan työohjeita, sekä luokituslaitoksen ohjeita ja sääntöjä.

Suojaus tärinältä

Mikäli keskukseen on valmistajan tai suunnittelun toimesta vaadittu tärinänvaimentimet (kuva 3), tulee tarkistaa, että ne on asennettu suunnitelmien ja ohjeiden mukaisesti keskuksen ylä- ja alakiinnityksiin.



Kuva 3. Kuminen tärinänvaimennin. (Tuotteet 2019.)

Laivoissa esiintyy paljon tärinää, joten yleisesti kaikki keskuksset, isot laitteet ja koneet, kuten laivan pääkoneet, asennetaan joustaville tärinänvaimennustassuille, jotka on puluttu laivan runkoon hitsatun alustan ja laitteen pohjan välille.

Käyttämällä oikeanlaista tärinänvaimennusta saadaan poistettua ei toivottua liikehdintää ja tärinää laitteistossa, joka voi mahdollisesti vaurioittaa tärkeitä laitteita ja komponentteja.

### Kiristysmomentti

Kuten edellä on mainittu, laivaympäristössä on yhtenä suurena haittana suuri määrä tärinää, joten kaikki keskuksen ruuvit, pultit ja kaapelikenkä- ja kiskoliitokset tulee vääntää ohjeiden ja sääntöjen mukaiseen kiristysmomenttiin. Kiristysmomentti riippuu ruuvin tai pultin koosta, lujuusluokasta ja mahdollisesta voiteluaineesta, eli kitkakertoimesta. Oikea kiristysmomentti on tärkeä, jotta kiinnitys on tarpeeksi luja ja pysyvä, mutta ei niin luja, että pultti rikkoutuu tai vaurioituu.

Oikea kiristysmomentti ruuveille ja pulteille lasketaan valmistajan antamien momentti- taulukoiden (taulukko 4) ja korjauskertoimien (taulukko 5) avulla. Telakan työohjeissa mainitaan lisäksi tiettyjen telakan omien standardiliitosten kiristysmomenttiarvot. Työohjeen kiristysmomenttiarvot perustuvat vankkaan kokemukseen ja valmiiksi laskettuihin kiristysmomentteihin korjauskertoimet huomioiden.

Taulukko 4. Momenttitaulukko teräsruuveille. (Pulttien kiristysmomentit 2019)

Kierre Gänga	4.6	5.8	8.8	10.9	12.9
	Nm	Nm	Nm	Nm	Nm
M 3	0,5				
M 4	1,2				
M 5	2,4	4,1	6,5		
M 6	4,2	6,9	11		
M 8	10	17	27		
M 10	20	33	53	74	89
M 12	34	57	91	128	154
M 14	54	91	145	204	244
M 16	83	139	222	313	375
M 20	163	271	434	610	732
M 22	219	365	584	822	986
M 24	281	469	750	1050	1270
M 27	406	677	1080	1520	1830
M 30	555	925	1480	2080	2500
M 33	748	1250	1990	2800	3360
M 36	965	1610	2570	3620	4340

Taulukko 5. Korjauskertoimet. (Pulttien kiristysmomentit 2019)

Ruuvi Skruv	Mutteri tai kierrereikä Mutter eller gängat godshål	Voitelu Smörjning	Kerroin Koefficient
Sähkösinkitty Elförzinkad	Sähkösinkitty/Elförzinkad	Kuiva/Torr	0,89
—"	—"	Öljytty/Anoljad	0,74
—"	Pinnoittamaton/Obehandkad	Kuiva/Torr	0,89
—"	—"	Öljytty/Anoljad	0,93
Kuumasinkitty Varmförzinkad	—"	Kuiva/Torr	1,13
	—"	Öljytty/Anoljad	0,89

Keskuksissa oikea kiristysmomentti tarkistetaan pistokokein käyttämällä momenttiavainta. Jokainen momenttiin kiristetty ruuvi ja pultti tulee olla merkattuna.

### 3.4 Mittaukset

Ennen sähkön kytkentää keskuksen koekäyttöä varten, tulee suorittaa jännitteettömät käyttöönottomittaukset keskukselle. Mittauksilla varmistetaan siitä, että laite on turvallista kytkeä ensimmäistä kertaa jännitteiseksi.

Suojajohtimen jatkuvuus ja pääkiskojen eristysvastusmittaukset suoritetaan jännitteettömänä ja vaihejärjestys tarkastetaan ennen katkaisijan kytkemistä kiinni ja keskuksen sähköistämistä.

Aina ennen mittauksien suorittamista tulee varmistua siitä, että mittauksista ei aiheudu vahinkoa tai vaaraa muille henkilöille eikä millekään laitteille.

Kun mittaukset on suoritettu hyväksytyin arvoin, dokumentoitu ja edellisten tarkastusten mukaiset toimenpiteet on suoritettu, eikä turvallisuuspuutteita ole, voidaan keskus huolletta kytkeä jännitteiseksi ja aloittaa koekäyttöönottoimenpiteet.

#### Suojajohtimen jatkuvuus

Mittaamalla suojajohtimen jatkuvuus varmistetaan, että keskuksen kaikki erilliset maadoitusjohtimet ovat kaikki kokonaisuudessaan jatkuvia, eli maadoitusjohtimien liitokset ja kaapelikengät on tehty oikein ja kunnolla sekä maadoitus on yhteydessä laivan runkoon.

Käytännössä tämä tehdään mittaamalla suojajohtimen resistanssi keskuksen maadoituspisteestä runkoon hitsattuun maadoitusliittimeen.

Jokainen keskuksen erillinen kenttä, johon on asennettuna erillinen maadoitusjohdin, tulee mitata. Mittaustulokset vaihtelevat 0–1  $\Omega$ :n välillä, riippuen maadoitusjohtimen pituudesta ja poikkipinta-alasta. Mittauksessa käytetään resistanssi- tai yleismittaria.

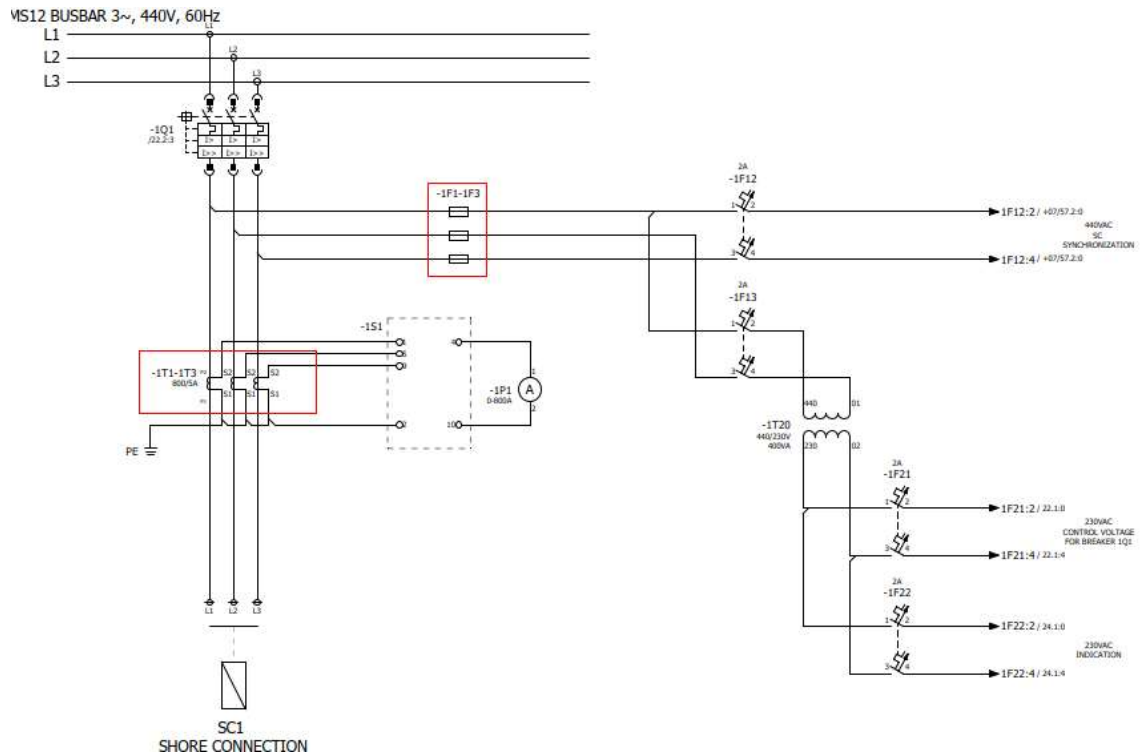
#### Pääkiskojen eristysvastus

Eristysvastusmittauksella varmistetaan, että asennusvaiheessa ei ole keskuksen syöttökaapeleihin tai kiskostoon tullut sähköistä eristystä haittaavia vikoja, vaurioita tai kosteutta ja likaa.

Ennen eristysvastusmittausta tulee varmistua siitä, että keskus on jännitteetön, tämä tapahtuu mittaamalla yleismittarilla tai jännitetesterillä, että vaiheiden L1–L2–L3 välillä ei ole jännitettä.

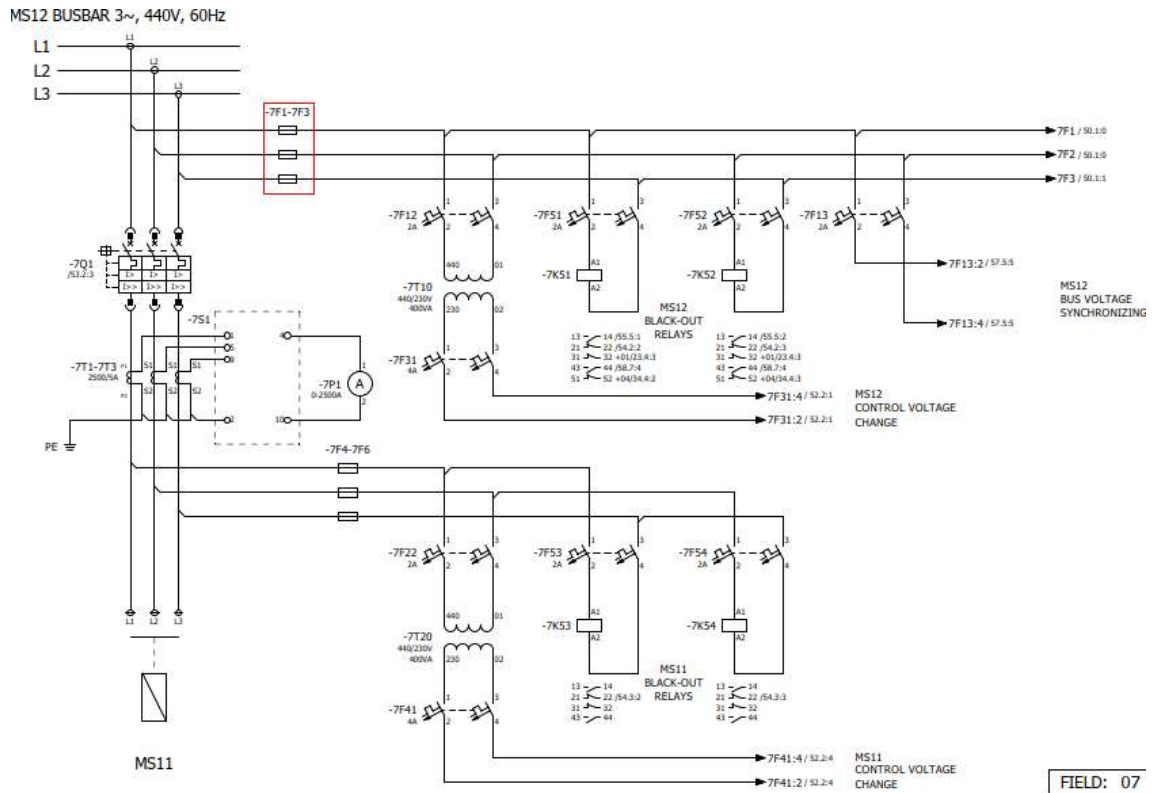
Ennen keskuksen koekäyttöönottoa tulee keskuksen pääkiskojen eristysvastus mitata syöttökaapeleiden päästä. Riippuen siitä mitä kautta ensimmäisen kerran keskus otetaan jännitteiseksi, tulee syöttökaapelit olla irrotettuna joko jakelumuuntajan toisista, maasyöttökeskuksen lähdöstä, tai mikäli keskukseen syötetään sähköä suoraan siihen liitettyllä generaattorilla, on kaapelit irrotettava generaattorin kytkentäpisteestä mittauksen ajaksi. Näin saadaan erotettua keskus omaksi mittauspiirikseen sisältäen syöttökaapelit. Kyseisen pääkatkaisijan tulee olla kiinni-asennossa ja kaikki muut keskuksen katkaisijat ovat auki-asennossa.

Pääkeskukset sisältävät yleensä paljon erilaista automatiikkaa, elektronisia laitteita ja mittauksia, jotka voivat vaikuttaa eristysvastusmittaukseen. Tärkeää on tarkastaa kyseisen keskuksen piirikaaviosta, mitkä ohjauspiiri-, synkronointi- ja mittaussulakkeet tai johdonsuojakatkaisijat tulee olla irrotettuna tai auki-asennossa, jotta saadaan luotettava eristysvastusmittaustulos. Irrotetut tai avatut piirit tarkastetaan koekäytön edetessä, jotta ne voidaan tässä vaiheessa jättää mittauksen ulkopuolelle.



Kuva 4. Maasyöttökeskuksen syötön pääpiirikaavio.

Ensimmäisen kerran keskus sähköistetään tyypillisesti maasyöttökeskuksen kautta, tällöin tulee siis suorittaa eristysvastusmittaus maasyöttökeskuksen lähdöstä MS-keskukseen. Kuvan 4 mukaan katkaisija 1Q1 MS12-keskuksesta tulee olla kiinni ja kaikki muut keskuksen katkaisijat auki, 1Q1-katkaisijan ja maasyöttökeskuksen SC1 välillä olevat ohjaus- ja synkronointipiirien sulakkeet (-1F1–1F3) tulee olla irrotettuina, lisäksi kaikki muut suoraan pääkiskoihin kytketyt mittaus- ja ohjauspiirien sulakkeet (kuva 5) tulee olla irrotettuina tai auki. Mikäli mittauksessa havaitaan, että virtamuuntajat -1T1–1T3 aiheuttavat mittaukselle häiriötä, voidaan ne tarvittaessa irrottaa mittauksesta.



Kuva 5. MS-keskusten välikatkaisijan ohjauspiirin sulakkeet.

Tyypillisesti eristysvastusmittaus suoritetaan äärijohtimien ja maan välillä, erona "maapuolen" eristysvastusmittaukseen, mitataan laivoja rakennettaessa kolmevaihe järjestelmässä jokainen vaihe erikseen vasten maata ja lisäksi jokainen vaihe vasten muita vaihteita, eli yhteensä yhdelle mittaukselle saadaan kuusi kappaletta eristysvastus-tuloksia. Näistä tuloksista alin merkitään mittauspöytäkirjaan. Mittaus suoritetaan eristysvastusmittarilla ja testijännite valitaan taulukon 4 mukaan. Testijännitettä tulee syöttää yhden minuutin ajan, jonka päätteeksi arvo otetaan ylös. Mittaustulos tulee olla vähintään taulukon 6 mukainen. Esimerkiksi 440 V MS-keskuksen pääkiskoa mitattaessa tulee käyttää 1000 V:n testijännitettä ja tuloksen on oltava vähintään 10 MΩ.



Taulukko 6. Eristysvastusmittauksen testijännitteet ja vähimmäistulokset.

Rated voltage $U_n$ (V)	Test voltage (VDC)	Min. result (M $\Omega$ )
$U_n = < 250$ (sensitive equipment)	250	0.5
$U_n = < 250$	500	1.0
$U_n = > 250$	1000	10

Pääkiskojen eristysvastusmittauksen päätteeksi, keskuksen kaikki irrotetut sulakkeet ja piirit tulee asentaa takaisin paikoilleen, johdonsuojakatkaisijat voivat olla edelleen auki-asennossa. Katkaisija, joka on ollut mittauksen ajan kiinni, tulee avata ennen kuin keskuksen syötetään sähköä.

Mikäli eristysvastuksessa, eikä muissa edellä tehdyissä kohdissa havaita puutteita voidaan keskus ottaa ensimmäisen kerran jännitteiseksi. Jännitettä kytkettäessä tulee noudattaa äärimmäistä huolellisuutta, sekä telakan ohjeistuksia jännitteen kytkemiseen. Sähkön jakelua voi toteuttaa ainoastaan sähkökäyttöönotoista vastaava työnjohtaja ja hänen siihen valtuuttamansa ja luvan saaneet henkilöt.

Esimerkiksi kuvan 4 maasyöttökeskuksen kautta syötettäessä keskusta, kytketään maasyöttökeskuksen päästä keskusta syöttävä katkaisija kiinni, jolloin keskuksen päässä olevan maasyöttökeskuksen katkaisijan 1Q1 ensiöpuoli on jännitteinen, tämän jälkeen voidaan suorittaa vaihejärjestysmittaus.

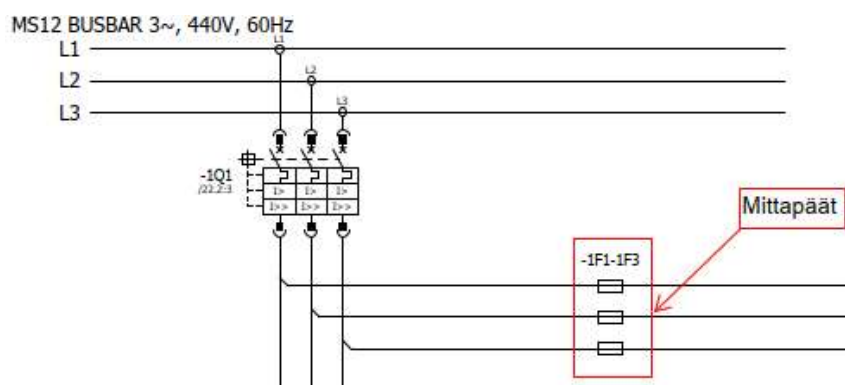
#### Vaihejärjestys

Kun keskuksen katkaisijan ensiöpuoli on jännitteinen, voidaan tarkastaa vaihejärjestys, eli niin kutsuttu pyörimis- tai kiertosuunta. Vaihejärjestys on hyvä tarkastaa samalla kun keskuksen ollaan kytkemässä jännite ensimmäisen kerran. Pyörimissuunnan tarkastuksella voidaan varmistaa, että pyörimissuunta ei vaurioita esimerkiksi taajuusmuuttajaohjaamattomia moottoreita, jotka voisivat mahdollisesti väärän pyörimissuunnan takia rikkoutua.



Kuva 6. Fluke 9040-vaihejärjestystesteri. (Tuotteet 2019a.)

Mittauksessa käytetään vaihejärjestystesteriä, esimerkiksi Fluke 9040-vaihejärjestystesteriä (kuva 6) tai muuta vastaavaa. Testerin mittapäät, eli vaiheet L1–L3 kytketään vastaaviin keskuksen mittaussulakkeisiin L1-L3 (kuvan 4 1F1–1F3 sulakkeisiin), erittäin tärkeää on huomioida, että mittapäät kytketään mittaussulakkeiden toisiopuolelle kuvan 7 mukaiseen paikkaan. Vaiheet on kytketty oikein, kun pyörimissuunta on myötäpäivään. (Tuotteet 2019a.)



Kuva 7. Mittapäiden sijoitus.

Kun vaihejärjestys on oikea, voidaan tässä tapauksessa katkaisija 1Q1 sulkea, jolloin keskuksen pääkiskot tulevat jännitteisiksi. Näin on ensimmäinen keskus saatu koekäyttöön otettua.

#### **4 Koekäytön aikana tehtävät toimenpiteet**

Kun keskus on otettu koekäyttöön, voidaan kunnolla aloittaa käyttöönottoimenpiteet. Käyttöönoton eteneminen riippuu hyvin paljon eri järjestelmien valmistumisesta ja koko projektin etenemisestä. Käyttöönotto tehdäänkin pitkälti sitä mukaan, kun työt etenevät ja sähköverkon eri osuudet valmistuvat.

Koekäytön aikana testataan keskukseseen liitettyjen kulutuskohteiden ja muiden keskuksien välisten katkaisijoiden lukitukset, toiminta ja ohjaukset, apugeneraattori ja sen ohjaukset sekä tarkastetaan keskuksen omien sisäisten mittauksien ja signaalien toiminta. Kaikki keskuksesta lähtevät signaalit ja mittaustiedot automaatiojärjestelmään eli IAS:iin (engl. Integrated Automation System), myös IAS-ohjattujen katkaisijoiden toiminta valvomosta käsin testataan, sekä tehdään kaikki loput käyttöönottomittaukset ja -toimenpiteet.

Koekäytön aikana tulee noudattaa telakan työ- ja turvallisuusohjeita. Käyttöönottoimenpiteitä saavat suorittaa ainoastaan työhön nimetyt ja luvan saaneet henkilöt, sähkökäyttöönotoista vastaavan työnjohtajan ja sähkötöiden johtajan luvalla. Kaikki koekäyttöönottamattomien kulutuskohteiden katkaisijat ja johdonsuojakatkaisijat tulee olla lukittuina auki-asentoon, myös keskuksen ovet on oltava lukittuina tai keskukseseen pääsy on estetty niin, että vain luvan saaneilla henkilöillä on pääsy keskukseseen. Muut mahdolliset turvallisuustoimenpiteet tulee olla myös tehtyinä, kuten esimerkiksi mahdolliset tulppasulakkeet on poistettava.

##### **4.1 Katkaisijat**

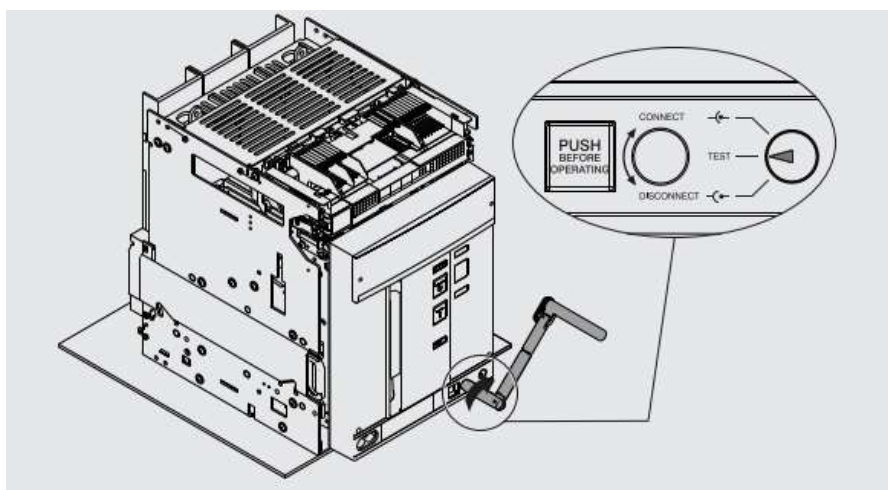
Katkaisijat ovat keskuksen toiminnan ja käyttötarkoituksen perusta, sillä keskuksen päätehtävänä on toimia virran jakajana ja ohjaajana sähköverkossa. Keskuksiin liitetään yleisesti useampi sähköön tuloliitäntä, kuten esimerkiksi maasyöttökeskus, jakelumuuntaja ja

apugeneraattori. Katkaisijoilla mahdollistetaan verkon monipuolinen ohjaus ja sähkönsyötön lähteen valinta, katkaisijoiden kautta jaetaan myös sähkö eteenpäin sitä tarvitseville kulutuskohteille ja muille verkon keskuksille. Katkaisijoilla myös suojataan ja säädetään sähköverkkoa, sillä katkaisijoissa on suojarieleet ja tarvittaessa integroidut tehonohjaimet, jotka mahdollistavat ylläpidettävän kuorman hallinnan, sekä tehohippujen vähentämisen.

Insinööriyössä on käyty läpi ainoastaan yhdentyypisen katkaisijan ominaisuudet ja käyttöönottoimenpiteet, sillä kaikkien katkaisijoiden käyttöönottoprosessi on perusperiaatteeltaan samanlainen, pieniä yksityiskohtia ja toimintoja lukuun ottamatta, jotka vaihtelevat laitevalmistajan ja katkaisijan tyyppin mukaan. Esimerkkinä tässä työssä on käytetty työn pohjana olleen tankkerin pääkeskuksen MS11 ja jakelumuintaja T3 välistä pääkatkaisijaa 5Q1 SACE Emax2 E4.2 3200 Ekip Dip LSI 3p WMP. Kyseinen katkaisija valikoitui sillä perusteella, että se on ominaisuuksiltaan ja käyttöönottoimenpiteiltään laajin yksittäinen katkaisija.

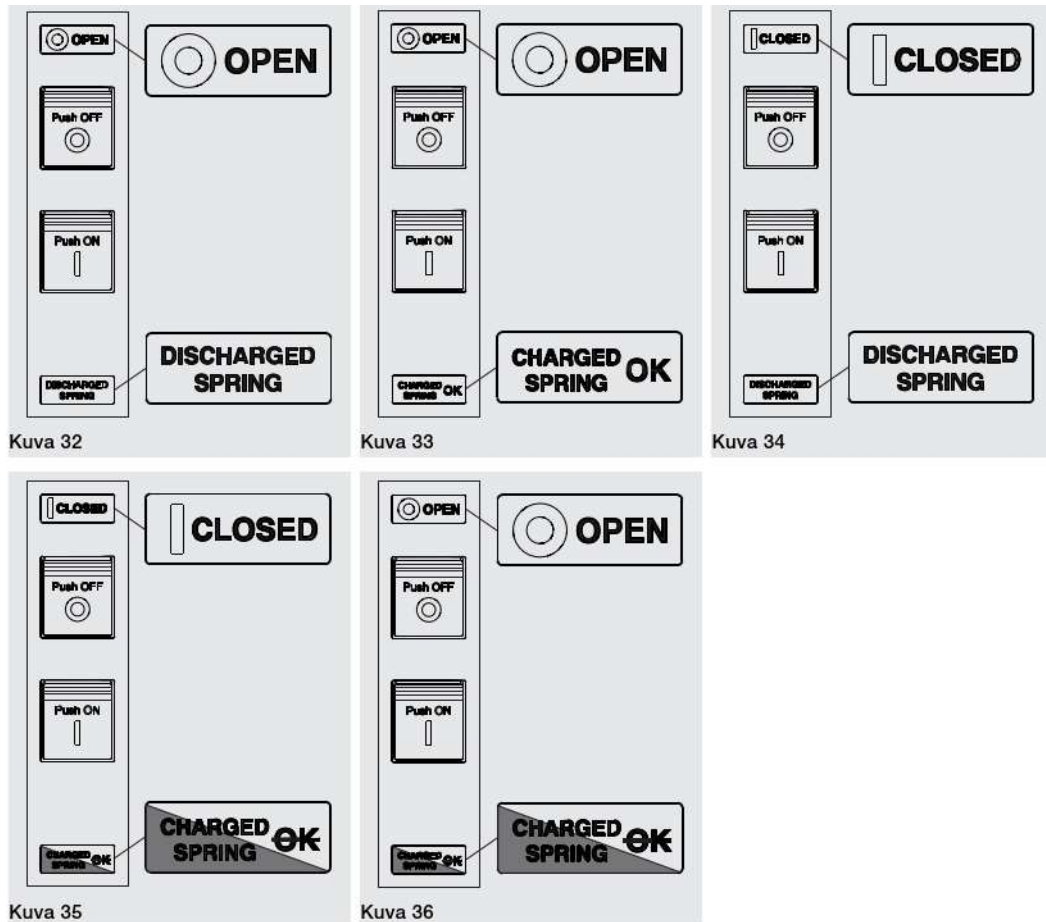
## Ohjaukset

Kaikkien pääkatkaisijoiden ohjaukset testataan ensimmäisen kerran katkaisijan ollessa testiasennossa, tämä toiminto tapahtuu vääntämällä katkaisijan sisään- ja ulostyöntö kampea myötä tai vastapäivään riippuen katkaisijan tila-asennosta, niin että katkaisijan osoitinlaite osoittaa TEST-tilaan (kuva 8). (Asennus- ja käyttöohjeet 2019.)



Kuva 8. Katkaisijan TEST-asento. (Asennus- ja käyttöohjeet 2019.)

Ensimmäiseksi testataan katkaisijan ohjaukset keskuksen paikallisohjauselementteistä, katkaisijan ohjauksen valintakytkimen tulee olla Local- eli paikallisohjauselementissä. Kun painetaan kiinni-painiketta, tulee katkaisijan mennä kiinni ja vastaavasti auki-painiketta painettaessa katkaisija avautuu, samalla tarkastetaan, että katkaisijan mekaaniset signaalit (kuva 9) toimivat ja katkaisijan jouset virittävää moottori toimii.



Kuva 9. Mekaaniset tilan ilmaisimet. (Asennus- ja käyttöohjeet 2019.)

Seuraavaksi tulee tarkastaa keskuksen piiri- ja pääkaaviosta (liite 1, s. 1), onko käytönotettava katkaisija IAS-ohjattu, yleisesti MS-keskusten syöttävät ja ainakin toinen kahden keskuksen välisistä katkaisijoista ovat IAS-ohjattuja. Mikäli käytönotettava katkaisija on IAS-ohjattu, voidaan testata seuraavaksi katkaisijan kauko-ohjaus valvomosta. Keskukselta tulee katkaisijan ohjauksen valintakytkin kääntää Remote- eli kauko-ohjaus-asentoon. Tämän jälkeen voidaan valvomosta käsin katkaisija ohjata kiinni, jolloin

katkaisija menee kiinni. Sitten testataan, että katkaisija avautuu, kun valvomosta annetaan auki käsky.

Ohjauksien kanssa tulee tarkastaa katkaisijan piirikaaviosta (liite 1, s.2) tai IAS I/O-listasta, mitkä tilatiedot ja hälytykset katkaisijalta lähtee IAS:iin ja testata että ne näkyvät oikein automaatiojärjestelmässä. Kaikki IAS-hälytyksien ja tilatietojen testaukset tulee suorittaa yhteistyössä automaatiosta vastaavan käyttöönottajän kanssa.

#### Lukitukset

Katkaisijoiden lukitukset tai ehdollinen toiminta, tulee tarkastaa katkaisijakohtaisesti kyseisen katkaisijan piirikaaviosta. Testaus tapahtuu katkaisijoiden ollessa testiasennossa, jolloin vältytään virheelliseltä toiminnalta, mikäli lukitukset eivät jostain syystä toimi suunnitellusti.

Esimerkkikatkaisijan 5Q1 eli jakelumuuntajan T3 ja MS11-keskuksen välinen katkaisija toimii liitteen 1, s.3 mukaisesti vain, mikäli propulsio-kojeistosta PS1 syötetyn muuntajan T3 ensiökatkaisija on kiinni ja MS11–MS12-välikatkaisijoista 7Q1 ja 1Q1 jompikumpi tai molemmat ovat auki. Tällöin kontaktori 5K4 vetää ja kontaktorin kosketin sulkeutuu, jolloin elektroninen viivekela 5D1 vetää ja 0,5 s viiveen jälkeen katkaisijan alijännitekela YU saa jännitteen, jolloin katkaisija 5Q1 on valmis menemään kiinni. Alijännitekela käyttämällä katkaisija saa myös auki komennon, mikäli jännite kelasta katoaa.

Katkaisijan 5Q1 lukitus testataan jokaisella lukituspiirillä katkaisijalla, eli ensin katkaisija yritetään laittaa kiinni, kun T3-ensiökatkaisija on auki, jolloin katkaisijan ei tulisi toimia. Tämän jälkeen ensiökatkaisija laitetaan PS1-kojeistosta kiinni ja viiveen jälkeen 5Q1-katkaisija laitetaan kiinni, jolloin katkaisija menee kiinni, kun lukituspiirillä muut katkaisijat ovat auki. Jokaisen lukituksen testauksen jälkeen katkaisija avataan.

Seuraavaksi 5Q1-katkaisijan lukituspiiristä testataan MS12-keskuksen katkaisijat 1Q1, eli maasyötön katkaisija ja 7Q1, eli MS12–MS11 välikatkaisija, sekä MS11-keskuksesta 1Q1, eli MS11–MS12 välikatkaisija. MS12-keskuksesta laitetaan katkaisijat 1Q1 ja 7Q1 kiinni ja MS11-keskuksesta laitetaan välikatkaisija 1Q1 kiinni, jolloin MS11-keskusta syötetään maasyötön kautta. Tämän jälkeen yritetään sulkea katkaisija 5Q1, joka ei mene

kiinni. Tällä lukituspiirillä estetään MS11-keskuksen syöttäminen maasyötön ja jakelumuuntajan kanssa samanaikaisesti.

Seuraavaksi testataan 5Q1-katkaisijan sulkeutuminen avaamalla toinen välikatkaisijoista, joko MS12-keskuksesta 7Q1 tai MS11-keskuksesta 1Q1, maasyötön katkaisija voi edelleen olla kiinni. Kun toinen välikatkaisijoista on auki ja MS11 on näin ollen jännitteetön, saadaan katkaisija 5Q1 kiinni.

### Suoja-asettelut

Helsingin telakan käyttämissä katkaisijoissa on omat suojareleet, joiden päätehtävänä on havaita vika ja antaa katkaisijalle avautumiskomento, joka katkaisee virrankulun. Kun rele havaitsee asetellun rajan ylittävää ylivirtaa, rele havahtuu ja kun ylivirta-arvo pysyy määritellyn ajan verran päällä, lähettää rele avautumiskäskyn katkaisijalle. Tällainen tilanne on esimerkiksi oikosulku, jolloin virrat nousevat nopeasti vaaralliselle tasolle. Viikaantuneen verkon osan erottaminen nopeasti ja selektiivisesti on erittäin tärkeää, jotta mahdollistetaan muiden tärkeiden sähköverkon osien normaali toiminta ilman vaaraa henkilöille tai laitteille.

Katkaisijoiden suoja-asettelut määritellään suunnitteluvaiheessa ja ne asetellaan katkaisijoihin valmiiksi laitetoimittajan toimesta ennen keskuksen saapumista telakalle, mutta katkaisijoiden selektiivinen toiminta vikatilanteessa on erittäin tärkeää verkon toiminnan kannalta, joten asetteluarvot tulee tarkistaa keskusten käyttöönottovaiheessa. Kaikkien relesuojausten asetteluarvot löytyvät keskuksien pääpiirikaaviosta.

Pääkeskuksissa käytetään LSI-typin suojareleitä, esimerkkipatkaisijassa 5Q1 on Ekip Dip -suojarele, jonka käyttöliittymällä releen raja-arvot asetellaan käyttämällä dip-kytkimiä. Ekip Dip -suojareleelle asetellaan kolme eri suojausta. L-suojaus suojaa ylikuormitukselta, S-suojaus suojaa selektiivisesti oikosululta ja I-suojaus on oikosulun pikalaukaisu. Asettelut tarkastetaan visuaalisesti dip-kytkimien asennoista käyttöliittymän ohjeiden mukaisesti (kuva 10). Katkaisijalle 5Q1 suunnitteluvaiheessa määritellyt suoja-asettelut (kuva 10) ovat seuraavat:

- $L:I1=0,82 \cdot I_n=2624A, t1=24s$



- $S:I2=2 \cdot I_n=6400A$ ,  $t2=0,3s$
- $I:I3=OFF$ .



Kuva 10. Ekip Dip -käyttöliittymä

Kaikkien keskuksien katkaisijoiden asettelut tulee vastata sähkösuunnittelun ja laitetoimittajan antamia arvoja. Mikäli asetteluihin joudutaan tekemään muutoksia, esimerkiksi nostamaan ylikuormitussuojauksen L arvoa tai aikaa, tulee muutoksesta keskustella aina sähkösuunnittelun kanssa ja tehdä tämän jälkeen korjaavat toimenpiteet.

#### 4.2 Hälytykset ja mittaustiedot

Hälytysten ja mittaustietojen käyttöönotto tehdään tiiviissä yhteistyössä automaatiokäyttönoton kanssa, sillä on äärimmäisen tärkeää, että kaikki suunnitellut mittaustiedot ja hälytykset tulevat oikein IAS-järjestelmään. Keskuksen piirikaaviosta tulee tarkistaa kaikki keskuksen omat sisäiset mittaukset, kuten maavuoto-, taajuus-, jännite- ja virtamittaukset, sekä IAS I/O-listasta kaikki IAS:iin lähtevät mittaustiedot ja hälytykset.



Tarkastellaan esimerkiksi MS11-keskuksen pääkiskon mittaukset ja IAS:iin lähtevät hälytykset (liite 2). Pääkiskolla on suoraan keskuksen liitetyt mittaukset ja mittarit jännitteelle ja maavuodolle. IAS-järjestelmään tulee mittaustiedot pääkiskon jännitteestä ja taajuudesta milliampeerilähettimien kautta. Hälytyksiä IAS:iin tulee MS11-keskuksen sähkökatkosta (engl. black-out) ja maavuodosta (engl. earth fault).

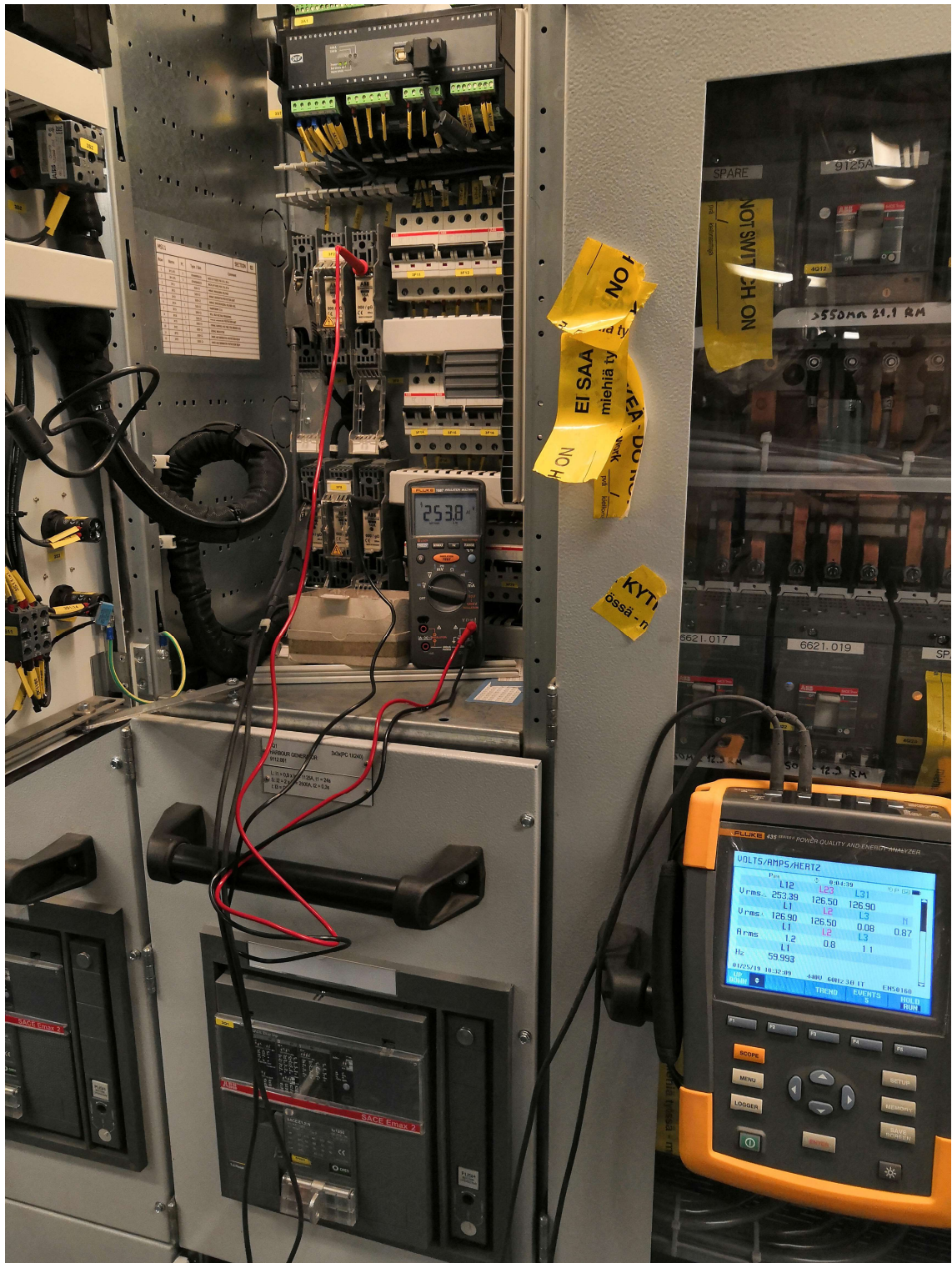
#### 4.3 Generaattorin tahdistus

Mikäli keskuksen on suunniteltu liitettäväksi generaattori (esim. satama-, hätä- tai päägeneraattori) tulee testata generaattorin ja jännitteisen pääkiskon välinen tahdistus. Koeikäyttövaiheessa testataan tyypillisesti kaikki tahdistus tavat yhdellä kertaa, jotta voidaan todeta kaikkien tapojen toimivan luotettavasti.

Generaattorin tahdistus voidaan tehdä sen jälkeen, kun generaattoria pyörittävän koneen suojoitoiminnot ovat tarkastettu onnistuneesti, kaikki tarvittavat käyttöönottoimenpiteet ja mittaukset keskukselle on suoritettu ja jännitteettömään keskuksen on onnistuneesti syötetty sähköä käyttöönotetulla generaattorilla.

Ensimmäisen kerran tahdistus kaikilla tavoilla toteutetaan generaattorin katkaisijan ollessa testi-asennossa, jolloin varmistetaan, että katkaisija menee kiinni vasta kun keskuksen ja generaattorin tahdistusehdot (jännite, vaihekulma, taajuus) ovat kunnossa.

Tahdistuksen ajaksi tulee generaattorin katkaisijan yli, eli kiskon ja generaattorin mitaussulakkeiden L1 ja L3 toisipuolille kytkeä kaksi jännitemittausta (kuva 11), jotta nähdään, että jännite katkaisijan yli on nolla kiinnimeno hetkellä.



Kuva 11. Tahdistuksen jännitemittauskytkentä.

Ensimmäisen kerran generaattorin tahdistus tehdään tyypillisesti maasyötön kautta syötettyyn keskukseen. Tällöin generaattorin jännite tulee säätää vastaamaan maasyötön

jännitettä ja muita tahdistusehtoja. Generaattorin pääjännitteen on oltava siis samansuuruinen kuin maasyötön kautta tuleva jännite, generaattorin jännitettä voidaan säätää jännitteentasaajasta magnetointivirtaa joko suurentamalla tai pienentämällä. Generaattorin tuottamaa taajuutta voidaan säätää muuttamalla generaattoria pyörittävän dieselkoneen pyörimisnopeutta eli kierroksia joko ylös- tai alaspäin.

#### Manuaalinen tahdistus

Manuaalinen tahdistus tapahtuu kääntämällä generaattorin katkaisijan ohjauksen valintakytkin local-manual asentoon. Keskuksen synkronointipiiri havaitsee kahden jännitteen läsnäolon ja aloittaa pyörittämään synkronoskoopin led-ympyrää, jonka mukaan tahdistus tulee suorittaa. Kun synkronoskoopin led-ympyrän valo on kello 12 kohdalla eli suoraan ylöspäin, ovat tahdistusehdot täytyneet ja katkaisijan voi sulkea. Samalla tulee seurata jännitemittausta katkaisijan yli, jotta nähdään jännitteen olevan lähes nolla kytkentä hetkellä.

#### Automaattinen tahdistus

Automaattinen tahdistus tapahtuu kääntämällä generaattorin katkaisijan ohjauksen valintakytkin local-auto asentoon. Tällöin katkaisijan synkronointipiiri sulkee katkaisijan automaattisesti tahdistusehtojen täytyttyä.

#### Kauko-ohjattu tahdistus

Kauko-ohjattu tahdistus tapahtuu kääntämällä generaattorin katkaisijan ohjauksen valintakytkin remote asentoon. Tällöin katkaisija voidaan sulkea IAS-järjestelmän kautta. Katkaisijan kiinnimeno tapahtuu automaattisesti synkronointipiirin kautta, kun tahdistusehdot täyttyvät.

#### 4.4 Mittaukset

Koekäytön aikana tehdyissä mittauksissa tulee aina varmistua siitä, että mittauksesta ei aiheudu vaaraa tai vahinkoa henkilöille tai millekään laitteille. Ainoastaan sähkön

käyttöönotoista vastaavan työnjohtajan ja sähkötöiden johtajan valtuuttamat henkilöt voivat suorittaa käyttöönottomittauksia.

#### Kulutuskohteiden eristysvastus

Keskuksen kaikille kulutuskohteille tehdään syöttökaapelin eristysvastusmittaus aina ennen kuin kyseinen laite tai ryhmäkeskus kytketään jännitteiseksi. Mittaustulokset dokumentoidaan keskuksen mittauspöytäkirjaan. Mittauksessa käytetään eristysvastusmittaria.

Mikäli käyttöön otettavana kulutuskohteena on jakokeskus tai moottorin käynnistin, tulee kulutuskohteen pääkytkimen olla auki asennossa, jolloin voidaan mitata kolmivaiheisen syöttökaapelin jokaisen vaiheen eristysvastus vasten muita vaiheita ja maata. Yhteensä kolmivaiheiselle syöttökaapelille tulee siis kuusi mittausta. Näistä mittauksista alin tulos merkitään mittauspöytäkirjaan.

Kun kulutuskohteena on laite, jota ei pystytä täysin erottamaan mittauksesta, mitataan ainoastaan kaikkien vaiheiden ja maan välinen eristysvastus. Muuntajia mitattaessa on tärkeää huomioida, että muuntajan toisiokäämi on maadoitettu mittauksen ajaksi. Radio- ja navigointijärjestelmiä mitattaessa tulee huomioida, että kyseiset laitteet voivat olla herkkiä korkealle testijännitteelle, jolloin voidaan käyttää alemmaa testijännitettä.

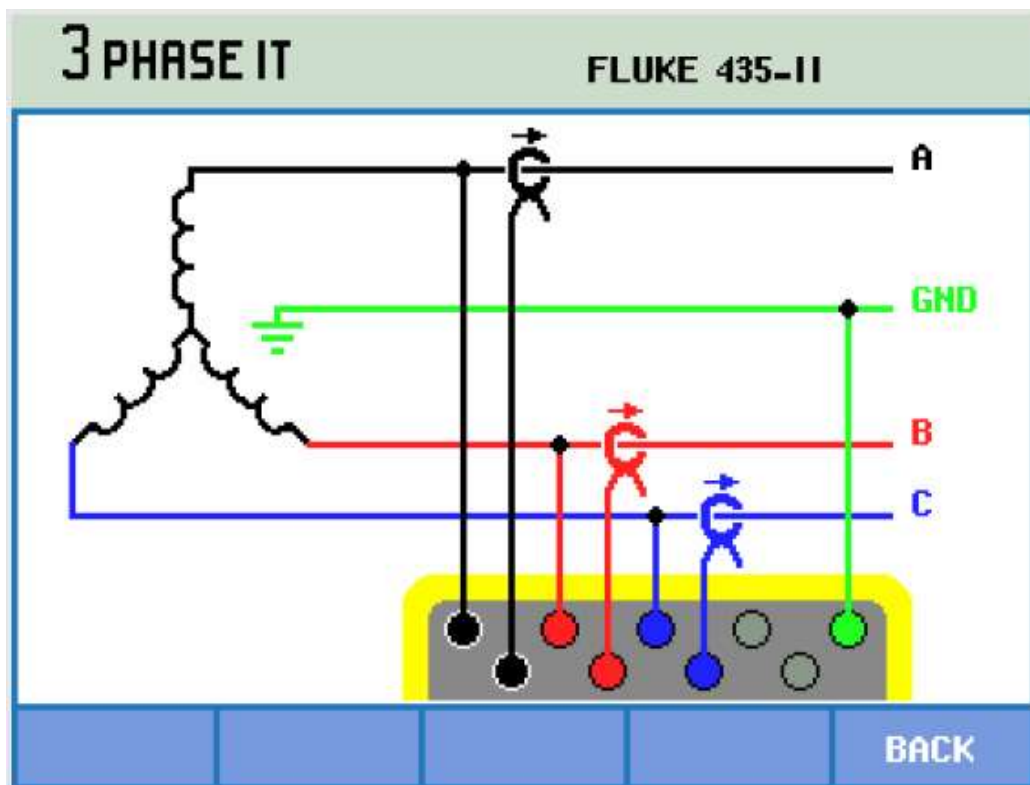
Testijännite ja eristysvastuksen vähimmäisarvo määräytyy sivun 19 taulukon 4 mukaisesti.

#### Harmoniset yliaallot

Harmonisten yliaaltojen mittaus tehdään käyttöönoton aikana, jotta varmistutaan THD- eli kokonaissärö-laskelmien paikkansapitävyydestä. Mittaus suoritetaan yleensä merikökeen aikana, jolloin keskuksiin on saatu riittävästi kuormaa eli tehoa. Mittauskytkentää tehdessä tulee keskuksen olla jännitteetön.

Mittauksessa tulee käyttää Fluke 435-II-3-vaiheista energia- ja sähkönlaatuanalysointilaitetta tai muuta vastaavaa. Laite alustetaan käyttöohjeiden mukaan kyseiseen mittaukseen, esimerkiksi johdotuskytkennäksi valitaan 3-vaihetähti-IT-kytkentä, taajuus 60 Hz,

nimellisjännite 440 V ja laadun rajoitukset EN50160. Mittapäät (jännite ja virta) tulee kytkeä johdotuskytkentä-kuvan (kuva 12) mukaisesti mittariin, ylläolevassa 3-vaihetähti-IT-kytkennässä, jännitemittauspäät (ruskea, musta ja valkoinen) kytketään keskuksen mitaussulakkeisiin L1-L2-L3 ja toinen pää kytketään mittarin A, B ja C pisteisiin. Tämän jälkeen tulee virtamittaussilmukat pujottaa keskuksen syöttökaapeleiden L1-L2-L3 ympäri, tärkeää on tarkistaa silmukoihin merkattu virran kulkusuunta ja silmukat liitetään mittarin pisteisiin A-B-C, mittarin maadoituspiste tulee liittää maahan. (Tuotteet 2019b: 128.)



Kuva 12. Johdotuskytkentä.

Kun kytkentä on tehty ohjeiden mukaisesti, voidaan aloittaa mittaus. Valikosta valitaan Harmonics-mittaus ja tallenna. Analysaattoriin annetaan tallentaa verkon yliaaltoja koko merikokeen ajan. Mitatut arvot eivät saa ylittää missään vaiheessa luokituslaitoksen määräämää maksimiarvoa. Bureau Veritasin määrittämä jännitteen kokonaissärön maksimiraja laitteistoissa, joihin on liitetty taajuusmuuttajia, on 8 %. Kun taas laitteistot, joissa taajuusmuuttajien määrä on vähäinen, on jännitteen kokonaissärön maksimiraja 5 %. (Rules for the Classification of Steel Ships Part C 2018: 359-360.)



## 5 Käyttöönotto- ja järjestelmätarkastus

Keskuksen käyttöönottotarkastuksessa tulee järjestelmästä vastaavan työnjohtajan yhdessä järjestelmävastaavan suunnittelijan kanssa tarkastaa, että keskuksen kytkentäkuviin on päivitetty kaikki tehdyt kytkentä- ja asennusmuutokset, sekä tarkastaa ja varmistua siitä, että kaikki käyttöönottoimenpiteet ja -mittaukset ovat hyväksytysti suoritettu ja dokumentoitu sekä keskuksen asennukset on tehty noudattaen standardeja, luokituslaitoksen vaatimuksia ja telakan omia työohjeita.

Järjestelmätarkastuksessa tarkastetaan yhdessä tilaajan ja luokituslaitoksen edustajien kanssa, että keskus on kokonaisuudessaan käyttöönotettu ja asennus sekä järjestelmän toiminta on standardien ja vaatimusten mukainen. Tarkastuksessa käydään läpi keskuksen asennukset, mittauspöytäkirjat, releiden asettelut, katkaisijoiden lukitukset, kiristysmomentit, IAS hälytykset ja mittaustiedot.

Kun käyttöönotto- ja järjestelmätarkastus on kokonaisuudessaan tilaajan ja luokituslaitoksen toimesta hyväksytysti suoritettu ja mahdolliset järjestelmätarkastuksessa tulleet huomautukset suljettu, voidaan katsoa, että keskus on täysin käyttöönotettu ja valmis.

## 6 Yhteenveto

Insinööriyön edetessä kirjoittajalle selvisi laivan sähkönjakelujärjestelmän käyttöönoton laajuus ja kuinka useiden eri osa-alueiden hallintaa ja osaamista järjestelmän käyttöönotto vaatii. Lisähaastetta työhön toi lähdetietojen ja -kirjallisuuden puutteet, joten käyttöönottoprosessi on kuvattu käytännössä ainoastaan yhdentyypisen laivan sähkönjakelujärjestelmän kannalta ja esimerkkien avulla, joten riippuen sähköverkon rakenteesta ja keskuksien suojalaitteista voi käyttöönottoprosessi hieman poiketa työssä kuvatussa, kuitenkin pääpiirteiltään käyttöönottoprosessi pysyy samanlaisena kuin edellä on kuvattu.

Insinööriyössä on käyty käyttöönottoprosessi läpi niin, että se on sovellettavissa jokaiseen laivan erityyppiseen ja ominaisuuksiltaan hieman erilaiseen keskukseseen. Seuraamalla insinööriyön rakennetta systemaattisesti voidaan varmistua siitä, että jokaiselle keskukselle tullaan tekemään samat käyttöönottoimenpiteet.

Työn pohjalta syntyi telakalle työohje laivan pääkeskusten käyttöönottoa varten, jota tullaan käyttämään keskusten käyttöönoton pohjana ja tukena tulevissa projekteissa. Työohje on laadittu niin, että siitä on helppo muokata projekti- tai laitekohtainen ohje. Työohje käsittelee keskuksille tehtävät käyttöönottomittaukset niin, että mittaukset ovat turvallisia suorittaa eikä mittauksista aiheudu vaaraa tai vahinkoa henkilöille tai laitteille.

Työn tavoitteet saavutettiin erinomaisesti ja toimeksiantaja oli tyytyväinen lopputuloksesta saatuun työohjeeseen, joka parantaa Helsingin telakalla rakennettavien laivojen sähkönjakelujärjestelmän käyttöönoton laatua ja turvallisuutta riippumatta keskuksen laitetotoimittajasta, asentajasta tai käyttöönottajasta.

## Lähteet

Asennus- ja käyttöohjeet. 2019. Verkkoaineisto. ABB. <<https://library.e.abb.com/public/d8e7afab57274339b325972c57faa2ac/Emax%20%20katkaisijan%20asennus-,%20kaytto-%20ja%20huolto-ohjeet.pdf>>. Luettu 1.4.2019.

Harsia, Pirkko. 2013. IT- ja TT-järjestelmät. Verkkoaineisto <<http://tate.blogs.tamk.fi/sahkoinen-talotekniikka/sahkoverkko/it-ja-tt-jarjestelmat/>>. Luettu 8.4.2019.

Pulttien kiristysmomentit. 2019. Verkkoaineisto. KPT Group. <<http://www.kpt.fi/images/pdf/Momentit2.pdf>>. Luettu 24.4.2019.

Rules for the Classification of Steel Ships Part C. 2018. Verkkoaineisto. Bureau Veritas. <[https://marine-offshore.bureauveritas.com/sites/g/files/zypfnx136/files/pdf/NR467\\_C1\\_2018-07.pdf](https://marine-offshore.bureauveritas.com/sites/g/files/zypfnx136/files/pdf/NR467_C1_2018-07.pdf)> Luettu 6.4.2019

Sormunen, Pekka. 2018. Arctech Helsinki Shipyard. Helsinki. Henkilökohtainen tiedonanto. 15.12.2018

Tuotteet. 2019a. Verkkoaineisto. Fluke Oy. <<https://www.fluke.com/fi-fi/tuote/sahkotestaus/perustesterit/fluke-9040>>. Luettu 25.4.2019.

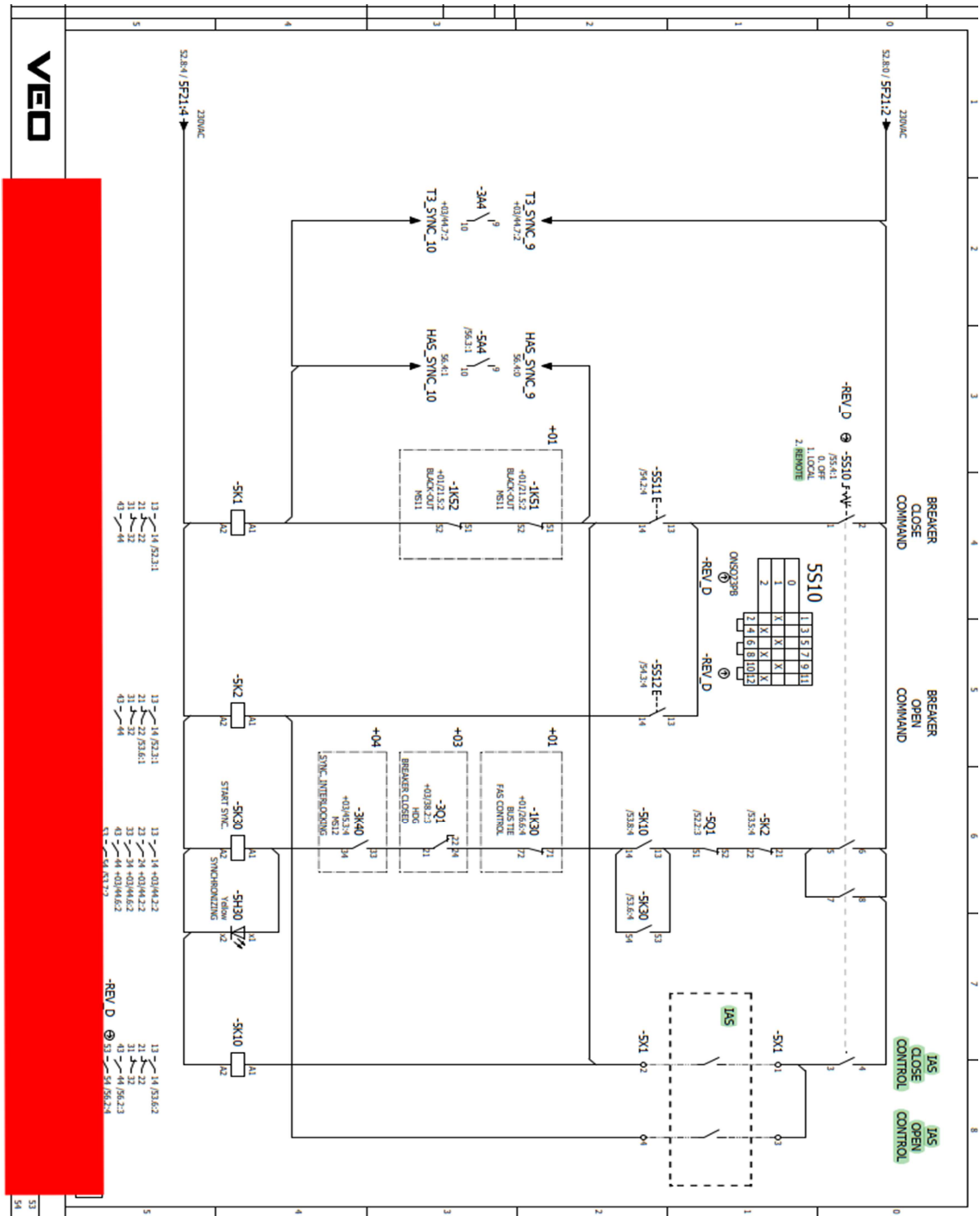
Tuotteet. 2019b. Verkkoaineisto. Fluke Oy. <[http://assets.fluke.com/manuals/F430-II\\_umfin0100.pdf](http://assets.fluke.com/manuals/F430-II_umfin0100.pdf)>. Luettu 25.4.2019.

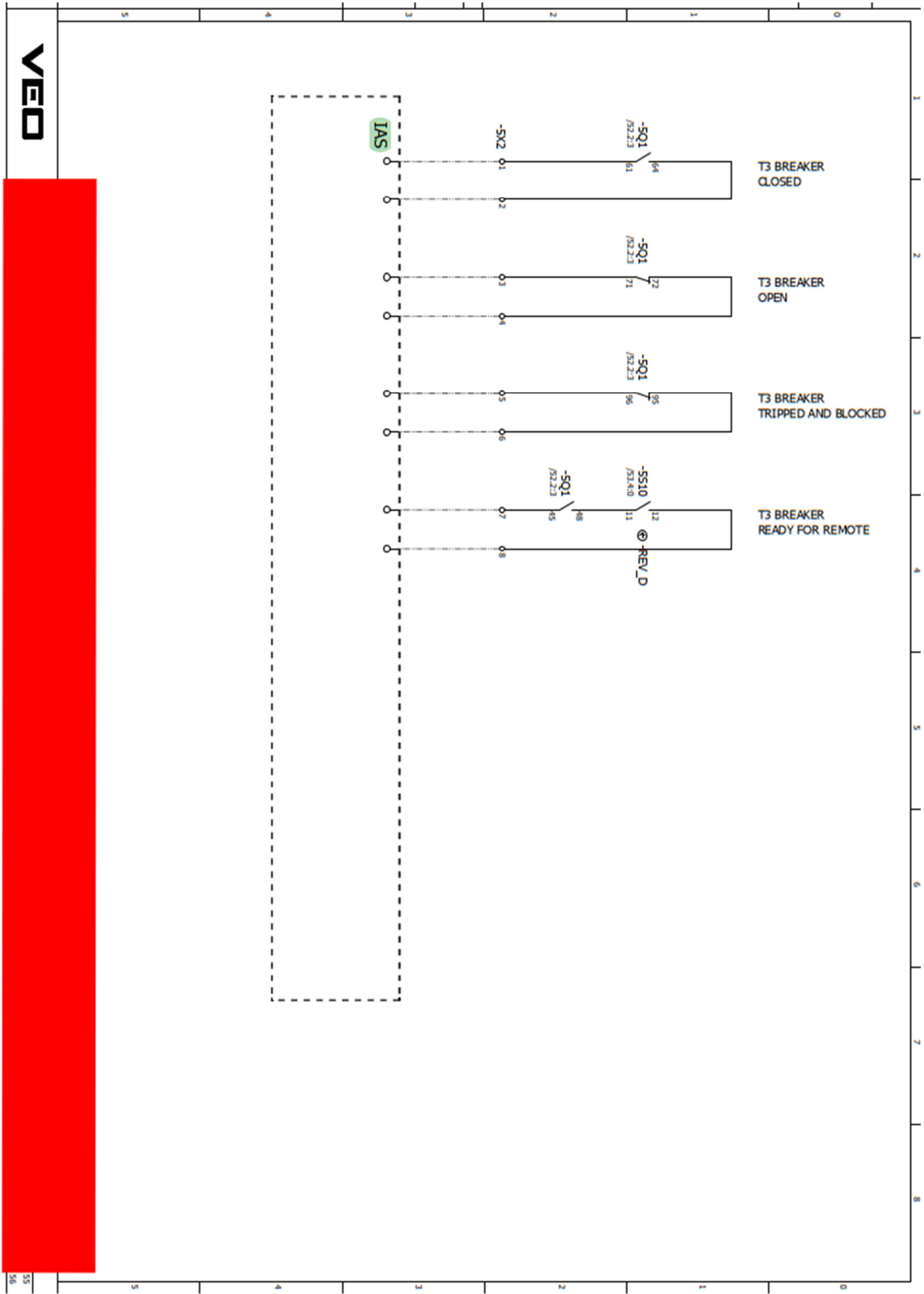
Tuotteet. 2019. Verkkoaineisto. Polymax Ltd. <<https://www.polymax.co.uk/anti-vibration-rubber-mount/cylindrical-vibration-bobbin-mount/>>. Luettu 24.4.2019.



## MS11 katkaisija 5Q1 piirikaavio

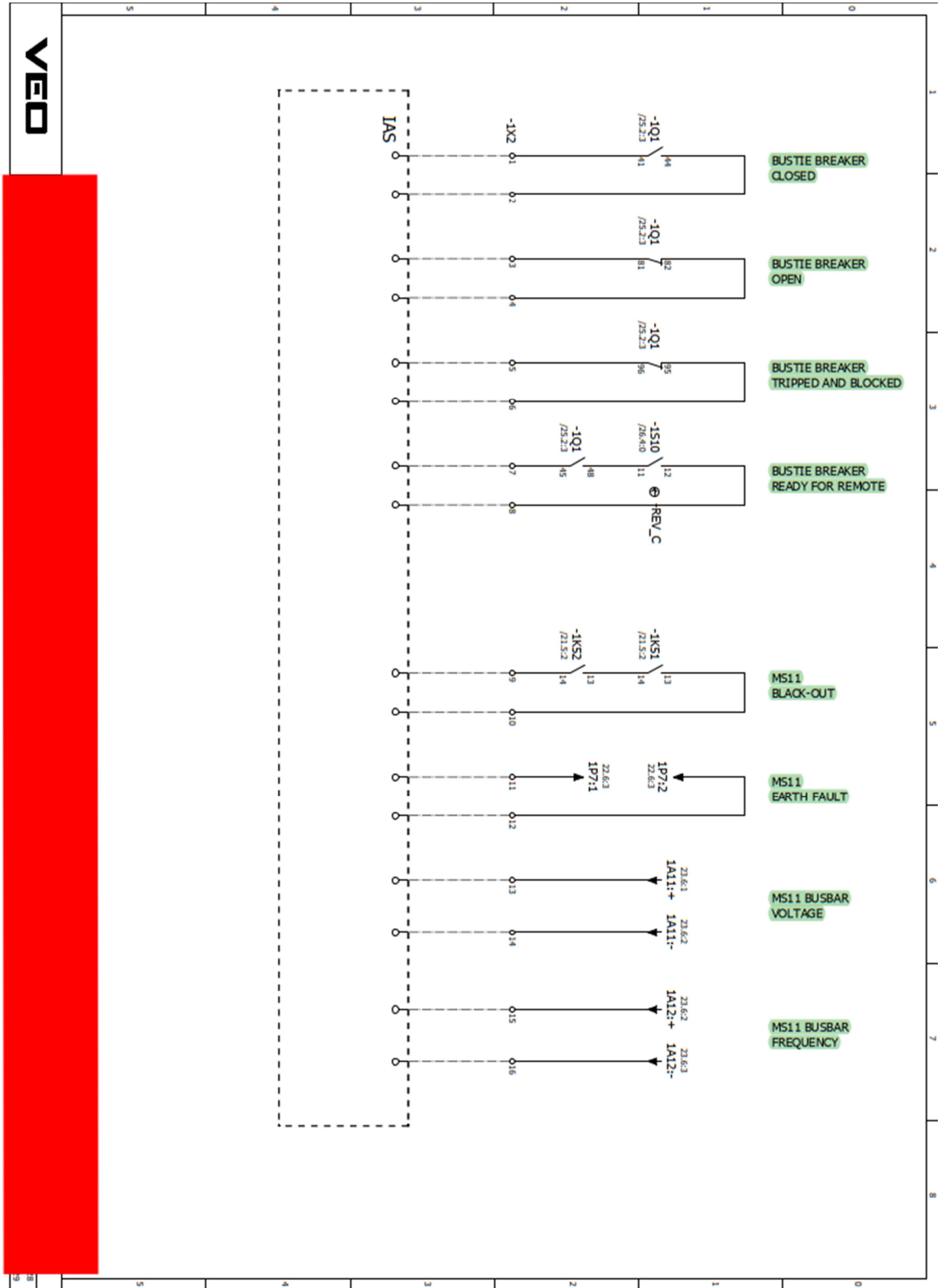
Tästä liitteestä selviää esimerkkikatkaisijan ohjauspiiri, IAS-signaalit, sekä lukitukset.











**VECO**