



KALLE LÄHTEENMÄKI

## **Päätaulujen väyläratkaisu**

TT-Line Spirit of Tasmania

SÄHKÖ- JA AUTOMAATIOTEKNIikka  
2022

Tekijä(t) Lähteenmäki, Kalle	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Joulukuu 2022
	Sivumäärä 27+2	Julkaisun kieli Suomi
Julkaisun nimi Päätaulujen väyläratkaisu TT-Line Spirit of Tasmania		
Tutkinto-ohjelma Sähkö- ja automaatiotekniikka		
Tiivistelmä  <p>Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tehdä kuvaus laivoihin rakennettavista päätaulujen väyläratkaisuista. Tämä työ koettiin hyödylliseksi, koska tämänlaista päätaulujen ohjaamista väylän kautta ei ole aiemmin toteutettu suomalaisessa meriteollisuudessa.</p> <p>Työssä tutkittava väyläratkaisu tehdään TT-Line Spirit of Tasmania laivoihin, joiden rakentaminen on aloitettu Rauman telakalla vuoden 2022 keväällä. Työssä tutkittiin tämän ratkaisun toimintoja, ominaisuuksia ja mahdollisia kehityskohteita, kuten älykkäiden katkaisijoiden selektiivisyyttä, jota ei vielä tähän projektiin päätetty toteuttaa. Työssä tutkittiin katkaisijoiden lukituksia, sääntöjä ja ominaisuuksia. Tavoitteena oli vertailla myös tämän ratkaisun hyötyjä tai haittoja. Tietoa tähän ratkaisuun haettiin RMC sisäisestä suunnitteluaineistosta, ABB:n materiaaleista, ST kortistosta ja www-sivuilta.</p> <p>Työn tuloksena saatiin kuvaus Rauman telakasta, laivan sähköjakelusta, akseligeneraattorijärjestelmästä, laivanrakennus säännöistä; SOLAS ja luokituslaitos. Kenttäväylystä kerrottiin perusteita, nykyään pystytään satoja analogisia ja digitaalisia pisteitä yhdistämään kenttäväylien avulla ilman suoria sarjaliitäntöjä. Tiedonsiirto rakennetaan kriittisissä järjestelmissä redundanttiseksi. Tässä opinnäytetyössä käsiteltävän päätaulujen väyläohjauksessa redundanttisuus on varmistettu käyttämällä kahta tiedonsiirtoväylää MODBUS ja ABB:n kehittämää Ekip Linkiä.</p> <p>Katkaisijoista tuotiin esiin kompakti- ja ilmatkaisijat, joista ilma katkaisijoita käytettiin tässä ratkaisussa. Lopussa on vielä päätaulujen toiminnoista kuvaus, joissa esitellään Ekip Linkin toimintoja tässä väyläratkaisussa.</p>		
Avainsanat Päätaulu, Kenttäväylä, Katkaisija, Lukitus		

Author(s) Lähteenmäki, Kalle	Type of Publication Bachelor's thesis	Date December 2022
	Number of pages 27+2	Language of publication: Finnish
Title of publication Main switchboards fieldbus solution TT-Line Spirit of Tasmania		
Degree programme Electrical and automation engineering		
Abstract  <p>The purpose of this thesis was to make description about main switchboard fieldbus solution, which will be built in the ships. It was considered useful to do this description, because this kind of main switchboard fieldbus solution has not been implemented in Finnish maritime industry before.</p> <p>This type on fieldbus solution will used for TT-Line Spirit of Tasmania ships, construction of these ships has started spring 2022 at Rauma Shipyard. In this thesis was compared, how much savings can be achieved with this solution. Its features and possible areas for development, such as selectivity of the intelligent circuit breakers, which will be not implemented in this project. In this thesis also examined the interlocks, regulations and features of circuit breakers. The objective was to compare advantages or disadvantages of this solution. Sources for this solution was found from RMC internal design documentation, ABB materials, ST cards and web sites.</p> <p>In result of this thesis, we got description of Rauma Shipyard, ships power distribution, shaft-generator system, Rules and Regulations from Classification Society and SOLAS. The basics of the fieldbus were explained, these days hundreds of analogue and digital points can be connected using fieldbus without direct serial interfaces. In critical systems data transmission is built redundantly. In this main switchboard fieldbus solution redundancy is ensured by using two communication buses MODBUS and Ekip Link developed by ABB</p> <p>The circuit breakers described were compact and air circuit breakers, of which air circuit breakers were used in this solution. At the end is description of the main switchboard functions, showing the functions of Ekip Link.</p>		
Keywords Main switchboard, Fieldbus, Circuit breaker, Interlock		

# SISÄLLYS

1 JOHDANTO .....	6
2 RAUMAN TELAKKA .....	6
2.1 Rauma Marine Constructions .....	7
2.2 Rauma Marine Constructions laivat .....	7
2.2.1 M/S Hammerhus NB6001 .....	7
2.2.2 Tallink Shuttle Mystar NB6003 .....	8
2.2.3 Laivue 2020 Pohjanmaa-Luokan korvetit NB6005-NB6008 .....	9
2.2.4 TT-Line Spirit of Tasmania NB6009&6010 .....	9
3 SÄHKÖNJAKELU LAIVASSA .....	10
3.1 Dieselmekaaninen propulsio .....	12
3.2 Akseligeneraattori .....	13
4 SOLAS .....	14
4.1 Luokituslaitos .....	14
5 KENTTÄVÄYLÄ .....	15
5.1 Redundanttinen järjestelmä .....	16
5.2 MODBUS TCP .....	16
6 KATKAISIJAT .....	16
6.1 Kompakti- ja ilma katkaisijat .....	17
6.2 Lukitukset .....	17
6.3 Vyöhykeselektiivisyys ja lukitussuojaus .....	18
6.4 Selektiivisyys älykkäissä katkaisijoissa .....	19
7 SACE EMAX 2 .....	20
7.1 Ekip Link .....	21
7.1.1 Ekip Link kaapelisäästö .....	22
8 PÄÄTAULUJEN TOIMINTA .....	23
8.1 Generaattorin katkaisijan avaaminen .....	24
8.2 Propulsiotaulujen katkaisijoiden väliset lukitukset .....	24
9 FAT .....	25
9.1 Muuntajien lukitukset .....	25
10 YHTEENVETO .....	26
LÄHTEET	
LIITTEET	

## SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

AFE = (Active front end)

ATS = Automaattinen syötönvaihto (engl. automatic transfer switching)

DG = Diesel generaattori

ES = Häätäulu (engl. Emergency Switchboard)

ESD = Häätöpysäytys (engl. Emergency shutdown)

FAT= Tehdaskoe (engl. Factory acceptance test)

IAS = Integroitu automaatiojärjestelmä (engl. Integrated automation system)

LNG = Nesteytetty maakaasu (engl. liquified natural gas)

LR = Lloyd's Register

MDR = Differentiaalisuojaus- ja oikosulkusuojaus (engl. Multi-differential relay)

MS = Päätaulu (engl. Main Switchboard)

PMS = Tehonhallintajärjestelmä (engl. Power management system)

Propulsio = Potkurilaitteisto

PS = Propulsiotaulu (engl. Propulsion switchboard)

SOLAS = Kansainvälinen yleissopimus ihmishengen turvallisuudesta merellä (engl. Safety of Life at Sea)

## 1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on tehdä kuvaus laivoihin rakennettavista päätaulujen väyläratkaisuista. Opinnäytetyö on tehty laivanrakennustelakalle Rauma Marine Constructions.

Työssä käydään läpi Rauman telakan historiaa, siellä rakennettuja ja rakennettavia laivoja. Telakan historian jälkeen on sähkönjakelusta osio, jossa perehdytään, millaista sähkövoimalaitosta työssä käsiteltävällä järjestelmällä ohjataan.

SOLAS ja luokituslaitos ovat tärkeitä turvallisuuteen liittyviä asiansyhteyksiä. SOLAS määrittelee alusten rakentamista, varustamista ja turvallisuuden koskevia asiansyhteyksiä. Luokituslaitos on merenkulkualalla auktorisoitu toimija, joka valvoo alusten teknistä kuntoa ja kenen sääntökirjan mukaan laivat rakennetaan.

Työssä käsiteltävää päätaulujen ohjaamista väylän kautta ei ole aiemmin toteutettu Suomessa. Päätaulujen ohjaukset on varmistettu redundanttisuudella MODBUS ja Ekip Linkin avulla. MODBUS väylää ohjataan Valmetin integroidusta automaatiojärjestelmästä. Ekip Link toimii ABB softan kautta. Järjestelmään kuuluu myös Deif, jonka järjestelmän paneeli myös sijoittuu päätauluihin, joka vaatii generaattorien ylijännitteitä ja -virtoja, jonka paneelista myös katkaisijoita pystytään ohjaamaan.

## 2 RAUMAN TELAKKA

Raumalla laivanrakennuksen perinteet ulottuvat jopa 1500-luvulle. Vilkkainta merenkulku Raumalla on ollut 1800-luvun purjelaivakaudella, jolloin satamassa rakennettiin monia erilaisia purjealuksia. Kauppa-laivojen ohella Rauman telakalla on rakennettu ja huollettu suuri osa Suomen valtion aluksista, kuten kaikki monitoimimurtajat ja suuret vartioalukset. Kaikki vuoden 1986 jälkeen käyttöön otetut merivoimien taistelualukset on rakennettu Raumalla. (Rauma Marine Constructions, 2022.)

## 2.1 Rauma Marine Constructions

Rauman telakan omistajana on 2014 lähtien Rauma Marine Constructions. RMC:n osaamiseen kuuluvat alusten rakentaminen ja korjaustyöt. RMC on erikoistunut monitoimimurtajien, matkustaja-autolauttojen ja puolustusvoimien alusten rakentamiseen ja huoltamiseen. Rauma Marine Constructions sijaitsee telakka-alueella Rauman sataman vieressä, jonka Rauman kaupunki hankki vuoden 2014 alussa. RMC:llä on kaupungin kanssa 30 vuoden vuokrasopimus Rauma Seaside Industry Parkissa. RMC:llä työskenteli vuonna 2022 noin 200 laivanrakennuksen asiantuntijaa. Rauman telakan historiassa on rakennettu monta matkustaja- ja autolauttaa. 30 autolauttaa ja ro-ro-alusta on valmistunut telakalla, esimerkiksi Tallink Siljalle sekä brittiläiselle P&O Ferries -yhtiölle. (Rauma Marine Constructions, 2022.)

## 2.2 Rauma Marine Constructions laivat

Tässä osiossa esitellään Rauma Marine Constructionsin ensimmäinen luovutettu laiva ja tulevaisuudessa luovutettavia laivoja. Osiossa kerrotaan laivoista tärkeimmät yksityiskohdat. Viimeisenä kuvaus TT-Line Spirit of Tasmania laivasta johon opinnäyte-työ kohdistuu.

### 2.2.1 M/S Hammerhus NB6001

RMC:n telakalta valmistui kesällä 2018 ensimmäinen laiva MS/Hammerhus (kuva 1), se on 158 metriä pitkä ja 23,5 metriä leveä matkustaja-autolautta tanskalaiselle Molslinjenille. 720 matkustajaa kuljettava matkustaja-autolautta kulkee Tanskan saaristossa ja osan vuotta Bornholmin ja Saksan välisellä reitillä Rönne-Sassnitz. (Normaali, 2022.)



Kuva 1. M/S Hammershus Rauma Marine Constructionin telakalla (NorMaali, 2022.)

### 2.2.2 Tallink Shuttle Mystar NB6003

Kuvassa 2 näkyvä Tallink Shuttle –alus, joka on noin 212 metriä pitkä, 30 metriä leveä ja sen bruttovetoisuus on noin 50 000 tonnia. Mystariin mahtuu 2 800 Matkustajaa ja sen työllisyysvaikutus on noin 1 500 henkilötyövuotta. Mystar on Megastarin sisarusalus, joka valmistui Meyer Turku telakalta vuonna 2017. (Rauma Marine Constructions, 2022.)



Kuva 2. Tallink Shuttle Mystar havainne kuva (Rauma Marine Constructions 2022.)



### 2.2.3 Laivue 2020 Pohjanmaa-Luokan korvetit NB6005-NB6008

Puolustusvoimat ja Rauma Marine Constructions allekirjoittivat 2019 sopimuksen neljästä Laivue 2020 Pohjanmaa-luokan taistelukorvetin rakentamisesta Raumalla. Kuvas-  
sassa 3 näkyy pohjanmaa luokan korvetti. Ensimmäisen korvetin luovutus on sovittu  
vuoteen 2025. Näitä korvetteja tehdään yhteensä 4 ja viimeisen luovutus on sovittu  
vuoteen 2028. (Rauma Marine Constructions, 2022.)



Kuva 3. Laivue 2020 Pohjanmaa-luokan korvetti havainne kuva (Rauma Marine Constructions, 2022.)

### 2.2.4 TT-Line Spirit of Tasmania NB6009&6010

TT-Line joutui kesänä 2020 vetäytymään tehdystä aiesopimuksesta koronapandemian vuoksi. Neuvottelupöytään palattiin TT-Linen hallituksen päätöksellä vuoden 2021 maaliskuussa. Rauma Marine Constructions ja TT-Line Company tekivät sopimuksen kahden matkustaja-autolautan rakentamisesta Rauman telakalla. Projektin työllisyysvaikutus on noin 3 500 henkilötyövuotta ja se kasvattaa RMC:n rakennettavien laivojen määrän kahdeksaan. TT-Linen alusten rakentaminen on aloitettu vuoden 2022 keväällä. Aluksista ensimmäinen on suunniteltu toimitettavaksi TT-Linelle loppuvuodesta 2023 ja toinen loppuvuodesta 2024. Laivat tulevat liikennöimään Australian Geelongin ja Tasmanian Devonportin välillä. Aluksille mahtuu noin 1 800 matkustajaa ja niiden bruttovetoisuus on noin 48 000 tonnia. Nämä alukset korvaavat nykyiset,

Suomessa vuonna 1998 rakennetut Spirit of Tasmania I ja II -laivat. (Rauma Marine Constructions, 2021)

Valmistuessaan alukset ovat kaikkein eteläisimpiä pelkästään LNG:llä liikennöitäviä aluksia. Aluksissa on kaksoispolttoaineratkaisu, joten tarvittaessa sitä pystytään ope- roimaan myös toissijaisilla polttoaineilla. Kuvassa 4 näkyy TT-Line Spirit of Tasma- nian havainne kuva. (Rauma Marine Constructions, 2022)



Kuva 4. TT-Line Spirit of Tasmania havainne kuva (Rauma Marine Constructions, 2022)

### 3 SÄHKÖNJAKELU LAIVASSA

Laivan sähkö tuotetaan käyttämällä pääkoneita tai apukoneita ja vaihtovirtageneraattoria. Generaattorin toiminta perustuu magneettikentän muutokseen johtimen ympärillä ja johtimeen indusoituvaan virtaan. Generaattori koostuu kiinteästä joukosta johtimia, jotka on käännetty rautasydämen ympärille, sitä kutsutaan staattoriksi. Roottoriksi kutsuttu pyörivä magneetti pyörii staattorin sisällä ja tuottaa magneettikentän. Tämä kenttä leikkaa johtimen poikki, mikä synnyttää indusoidun- tai sähkömagneettikentän, kun mekaaninen panos saa roottorin kääntymään.

Jos aluksen pääasiallinen sähköntuotantojärjestelmä menee epäkuuntoon, käytössä on myös varavoimajärjestelmä. Varavoimanlähteellä varmistetaan, että tärkeimmät koneet ja järjestelmät jatkavat aluksen toimintaa. Varavoima voidaan syöttää akuista tai



### 3.1 Dieselmekaaninen propulsio

Diesel mekaaninen propulsio koostuu TT-Line Spirit of Tasmania laivoissa kahdesta pääpotkurista, jotka on kytketty akselilinjojen välityksellä alennusvaihteisiin. Alennusvaihteisiin on kytketty kumpaankin kaksi pääkonetta. Molemmissa alennusvaihteissa on PTO (Power take out) joihin kytketty akseligeneraattorit. Kolme apukonetta (dieselgeneraattorit) ja akseligeneraattorit muodostavat sähkölaitoksen, joka syöttää kuluttajia päätaulujen kautta.

Tämä ratkaisu eroaa tavallisesta laivansähkönjakelusta siten että diesel generaattori 2 pystyy syöttämään molempia propulsiotauluja, katkaisijoiden lukitukset keskenään aiheuttavat sen, ettei diesel generaattori 2 pysty syöttämään molempia propulsiotauluja samanaikaisesti.

Akseligeneraattorit on varustettu taajuusmuuttajilla, jotka syöttävät ohjaus potkureita tai propulsiotauluja AFE (active front end) muuntimen avulla. Tämän etuna on se, että akseligeneraattorit voivat toimia tietyissä rajoissa muuttuvalla kierrosluvulla, eivätkä rajoita akseligeneraattorikäytössä pääkoneiden ja potkurien kierroslukua, kun propulsio-ohjaus on kombinaattori-tilassa.

Dieselmekaanisen propulsiojärjestelmä:

- Diesel generaattorit syöttävät propulsiotauluja PS1 ja PS2 (690V-50Hz).
- Päätaulut MS1 ja MS2 saavat syötön propulsiotaulujen jakelumuntajilta (690V/415V).
- Häätätaulut saavat syötön joko päätauluilta MS1, MS2 tai hätädieselgeneraattorilta (415V-50Hz).

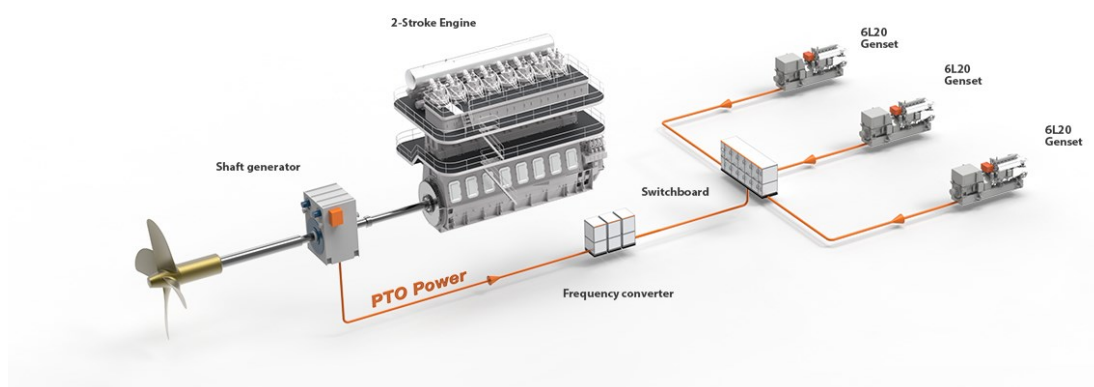
Generaattorien tekniset arvot:

- Dieselgeneraattorit: 1440A / 1721kVA, cos phi 0.80, 1000 rpm (690V)
- Akseligeneraattorit: 3895A / 4655kVA, cos phi 0.85, 1515...1818 rpm (690V)
- Hätägeneraattori: 1412A / 1015kVA, cos phi 0.80, 1500 rpm (415V)

(RMC Sisäinen suunnitteluaineisto, 2022)

### 3.2 Akseligeneraattori

Energiatehokkuus on iso osa laivan suunnittelua ja käyttöä. Kustannusten alentamisen lisäksi tehokkuuden lisääminen johtaa päästöjen vähenemiseen. Akseligeneraattorijärjestelmistä on tullut yhä yleisempi vaihtoehto, joka auttaa laivanomistajia ja operaatoreita saamaan kannattavuutta, kilpailussa vesien puhtaana pitämisessä tuleville sukupolville. Akseligeneraattorin on syötettävä sähköverkkoon vakiojännite ja vakiotaaajuus, kun pääkoneen kierrosluku muuttuu, eli silloin kun laiva kulkee eri nopeuksilla tai jos potkurin kierrosluku vaihtelee voimakkaasti kovassa merenkäynnissä. Laivoissa joissa on kiinteälapaiset potkurit, nopeus säädetään muuttamalla potkurin pyörimisnopeutta. Jos käytetään säädettävälapaisia potkureita, tapahtuu nopeuden muutos lapakulmien säädön avulla. Joissain tapauksissa säätölapapotkurin pyörimisnopeuttakin voidaan säätää hyötysuhteen ja käsiteltävyyden parantamiseksi. Pääkoneilla on siten taloudellisesti kannattavaa käyttää akseligeneraattorijärjestelmiä, joissa on taajuusmuuttaja muuttuvaa nopeutta varten, jotta kombinaattorikäyttö on mahdollista satasta toiseen. Tässä tulee kuitenkin huomioida, että taajuusmuuttajan sisäinen hyötysuhde on yleensä noin 0.97 jolloin järjestelmässä muodostuu aina ylimääräinen häviöteho itse taajuusmuuttajassa. Alla periaatekuva Wärtsilän akseligeneraattorijärjestelmästä. (Wärtsilä, 2022)



Kuva 6. Akseligeneraattorijärjestelmä (Wärtsilä, 2022)

## 4 SOLAS

SOLAS-yleissopimusta pidetään tärkeimpänä kauppa-alusten turvallisuutta koskevista kansainvälisistä sopimuksista. Ensimmäinen versio hyväksyttiin vuonna 1914 vastauksena Titanicin katastrofiin.

SOLAS-yleissopimuksen tavoitteena on määritellä alusten rakentamista, varustamista ja käyttöä koskevat vähimmäisvaatimukset, jotka ovat yhteensopivia niiden turvallisuuden kanssa. Lippuvaltiot ja luokituslaitokset ovat vastuussa siitä, että niiden lipun alla purjehtivat alukset täyttävät yleissopimuksen vaatimukset. Valvontamääräykset antavat myös sopimushallituksille mahdollisuuden tarkastaa muiden sopimusvaltioiden aluksia, jos on syytä uskoa, että alus ja sen varusteet eivät ole olennaisilta osin yleissopimuksen vaatimusten mukaisia. SOLAS sopimus määräytyy kölin laskuajan mukaan. (IMO, 2019)

Kansainvälisissä merenkulkusäännöissä edellytetään, että aluksen pääsähköjärjestelmässä on vähintään kaksi generaattoria. Generaattoreita käytetään tavallisesti omalla dieselmoottorilla, mutta tämä voi olla kallista ja viedä lisätilaa. Kansainväliset merenkulkusäännökset edellyttävät, että vähintään yhden sähkögeneraattorin on oltava riippumaton pääpotkureiden ja niihin liittyvien akselien nopeudesta ja pyörimisnopeudesta, ja näin ollen vähintään yhdellä generaattorilla on oltava oma voimanlähteensä. Jos käytössä on vähintään kaksi generaattoria, joista toinen saa käyttövoimansa potkuriakselilta, toisen generaattorin vikaantuminen voi johtaa siihen, että alus ei ole kansainvälisten määräysten mukainen. Tästä syystä monet varustamot valitsevat kolme generaattoria. Yhtä käytetään tavanomaiseen merikuormitukseen ja kaksi on käytettävissä epätavallisen suurta kuormitusta varten tai turvallisuuden takaamiseksi manööveri käytössä. Vaihtoehtoisesti kolmas generaattori pidetään varavoimakoneena, joka pystyy tuottamaan virtaa, jos yksi generaattoreista ei toimi tai vaatii huoltotöitä. (DC Marine, 2000)

### 4.1 Luokituslaitos

Luokituslaitos on merenkulkualalla auktorisoitu toimija, joka valvoo alusten teknistä kuntoa ja kenen sääntökirjan mukaan laivat rakennetaan. Luokituslaitoksen peruskat-

sastuksien lisäksi voi alukselle olla määritelty muita erityisiä luokitusmerkintöjä. Näiden muiden luokkamerkkien katsastus suoritetaan kyseisen luokituslaitoksen teknisten sääntöjen mukaisesti. Luokituslaitos myöntää alukselle luokitustodistuksen aluksen ollessa luokituslaitoksen sääntöjen mukaisessa kunnossa. Luokituslaitos määrittää alusten turvallisuuden ja merikelpoisuuden. Laivojen lippuvaltion velvoittamat katsastukset perustuvat lakiin. Näiden valvonnasta vastaa lippuvaltion viranomaisen. Suomessa viranomaisen on sopinut laivojen katsastuksista luokituslaitosten kanssa. Yhteistyö laivanrakentajien kanssa uudesta laivasta aloitetaan jo suunnitteluvaiheessa luokituslaitosten hyväksyessä suunnitelmat. Luokituslaitoksen sääntökirja on voimassa siltä vuodelta, kun laivan rakennus sopimus on tehty.

Lloyd's Register toimii TT-Linen luokituslaitoksena Spirit of Tasmania laivoissa. LR on maailmanlaajuinen asiantuntijapalveluyritys, joka on erikoistunut merenkulkualan tarkastuksiin ja teknologiaan. LR on maailman ensimmäinen merenkulun luokituslaitos, joka perustettiin yli 260 vuotta sitten parantamaan alusten turvallisuutta. LR tarjoaa teknistä asiantuntemusta yli 70 toimipisteessä, ja se palvelee asiakkaita 182 maassa. (Lloyd's Register, 2022)

## 5 KENTTÄVÄYLÄ

Kenttäväylä on keino kommunikoida syöttölaitteiden, lähtölaitteiden ja merkkivalojen kanssa, ilman että jokaista yksittäistä laitetta tarvitsee kytkeä takaisin ohjaimen, esimerkiksi PLC:hen. Syöttölaitteita ovat esimerkiksi anturit ja kytkimet, lähtölaitteita ovat taas venttiilit ja moottorit. Ennen kenttäväyliä tietokoneet yhdistettiin toisiinsa suorilla sarjaliitännöillä, jolloin kaksi laitetta kommunikoi per yhteys. Kenttäväylä mahdollistaa satojen analogisten ja digitaalisten pisteiden yhdistämisen. Tämä vähentää sekä tarvittavien kaapeleiden määrää ja kaapelin pituutta. Kenttäväylävaihtoehtoja on saatavilla paljon, koska automaatiolaitteiden valmistajat ovat kehittäneet omia kenttäväyliä, joiden ominaisuudet ja toiminnot eroavat toisistaan, jotta ne pystyisivät parhaiten hoitamaan omat markkinansa ja kilpailemaan keskenään teknisellä tasolla.

Siksi ei ole yllättävää, että jotkin väylät ovat parempia tietyissä toiminnoissa kuin toiset. (Process Industry Forum, 2022)

### 5.1 Redundanttinen järjestelmä

Redundanttinen järjestelmä tarkoittaa komponenttien tai piirien kahdennusta, jolla ylläpidetään järjestelmän toimintakyky sinäkin aikana, kun yksittäinen osa ei ole käytävissä. (ST-käsikirja 31, 2019, 13)

Työssä tutkittavien katkaisijoiden kommunikointi on varmistettu redundanttisuudella. Päätaulujen Emax 2 katkaisijoihin lisätyllä Ekip Link- ja Ekip com (MODBUS) moduulilla varmistetaan tiedonsiirron redundanttisuus.

### 5.2 MODBUS TCP

MODBUS on tiedonsiirtoprotokolla, joka perustuu isäntä/renki- tai asiakas/palvelin tekniikkaan. Tämän protokollan ensisijainen tarkoitus on toteuttaa nopeaa tiedonsiirtoa automaatio- ja kentälaitteiden välillä. MODBUS on yksinkertainen protokolla, jolla pystytään toteuttamaan esimerkiksi nopea Ethernet-tiedonsiirto. Valmistajasta riippumaton datarakenne mahdollistaa tiedonsiirron eri valmistajien laitteiden välillä. (Wago, 2022)

MODBUS TCP soveltuu yksinkertaisiin, reaaliaikaisiin vaatimuksiin. (sykلياika noin 100 ms). Toisin kuin muissa protokollissa, MODBUS voi käsitellä viivästettyjä viestejä, joita esiintyy usein esimerkiksi modeemiyhteyksissä tai langattomissa verkoissa. MODBUS mahdollistaa ohjauksen, laitevalvonnan ja tietojen keräämisen. (Auma, 2022.)

## 6 KATKAISIJAT

Katkaisija on mekaaninen kytkinlaite, joka pystyy kuljettamaan ja katkaisemaan virrat normaalissa virtapiirissä. Katkaisijat pystyvät myös katkaisemaan virrat epänormaaleissa virtapiirin olosuhteissa, kuten oikosulussa. (SFS-EN 60947-1, 2021, 32)



## 6.1 Kompakti- ja ilma katkaisijat

Kompaktikatkaisijan kotelot on valettu ja eristeaineineen muodostaa kiinteän osan katkaisijan rakennetta. Yleisesti ottaen kompaktikatkaisijassa pääkoskettimia käytetään suoraan käyttövivun avulla mekaanisesti. (ST 53.45, 2015, 4)

Kompaktikatkaisijaa käytetään kaapelin tai kiskoston suojana, pääkytkimenä pienemmissä keskuksissa, erilaisten laitteiden esimerkiksi moottorien ja muuntajien suojauksessa. (ST 53.45, 2015, 6)

Emax 2 katkaisijat ovat ilmakatkaisijoita, joissa pääkoskettimet ovat vapaassa normaalilmanpaineen tilassa. Yleisesti ilmakatkaisijat ovat metallirunkoisia ja kiinni-auki-toiminnot suoritetaan jousivoimalla. Laukaisujouset voidaan virittää joko käsin tai moottorilla. Avaaminen ja sulkeminen tapahtuvat painonapeilla katkaisijan etulevystä tai kauko-ohjauksella. (ST 53.45, 2015, 5)

Ilmakatkaisijan käyttökohteita ovat kaapelien, kiskostojen ja keskusten suojaus pääkytkimenä sekä isojen moottorien suojaus ja kytkentä. Ilmakatkaisijoita käytetään suurempien järjestelmien suojaamiseen ja kompaktikatkaisijaa pienempiin järjestelmiin tai kuluttajiin. (ST 53.45, 2015, 6)

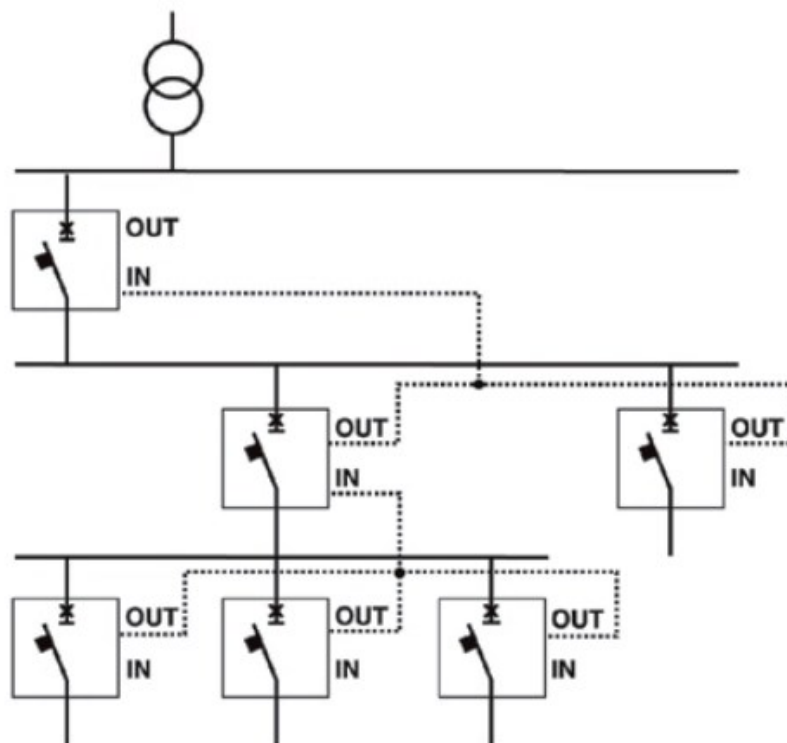
## 6.2 Lukitukset

Lukitukset tekevät kahden mekanismin tilat toisistaan riippuvaisen. Lukituksien tarkoitus on suojata konetta ja käyttäjää. Yksi esimerkki lukituksesta on automaattivaihteisessa autossa. Kuljettajan on painettava jarrupoljinta, jotta pystyy vapauttamaan vaihtevaihtajan ajoasentoon, ettei auto pääse liukumaan eteenpäin. Mekaaninen lukitus on fyysisesti kytketty toiseen laitteeseen estämään toimintoja jota ei haluta tapahtuvan. Mekaanista lukitusta on käytetty auton ratissa. Auton ratin lukitus on kehitetty varkauden estämiseksi, tämän tarkoitus on estää pyörien kääntämistä ja auton liikkuttamista ilman avaimia. (Realpars, 2022, Interlock)

### 6.3 Vyöhykeselektiivisyys ja lukitussuojaus

Sähköverkon suojausn selktiivisyydellä tarkoitetaan sitä, että ainoastaan lähimpänä vikapaikkaa oleva syötönpuoleinen suoja erottaa vikapaikan ja tekee mahdollisimman pienen osan verkosta jännitteettömäksi. (ST 53.13, 2017, 2)

Vyöhykeselektiivisyyden toiminta perustuu lukituksiin, pienjännitepuolen lukitussuojauksesta puhuttaessa käytetään joskus tätä termiä vyöhykeselektiivisyys. Lukituksilla on tarkoitus parantaa selektiivisyyttä siten, että peräkkäisistä katkaisijoista laukeaa se katkaisija, joka on lähimpänä vikapaikkaa. Lukituksia käyttäessä katkaisijaportaiden välille ei tarvitse järjestää aikaselektiivisyyden tyyliin niin paljon toiminta-aikaeroa. Lukitussuojaus toimii siten, että vikavirran kulkiessa katkaisijan lävitse kyseinen katkaisija lähettää solmussa ylempänä olevalle katkaisijalle lukituskomennon pysyä kiinni tai hidastaa sen toimintaa ja avautuu itse suojaroleensä ohjaamana. Lukitusketju jatkuu vastaavalla tavalla ketjussa ylöspäin aina pääkeskuksen pääkatkaisijaan. Katkaisijan toiminta on hidastettu, että se voidaan lukita, mutta peräkkäiset katkaisijat voivat olla samalla aikahidastuksella. (ST 53.13, 2017, 4) Alla periaatekuva vyöhykeselektiivisyydestä.

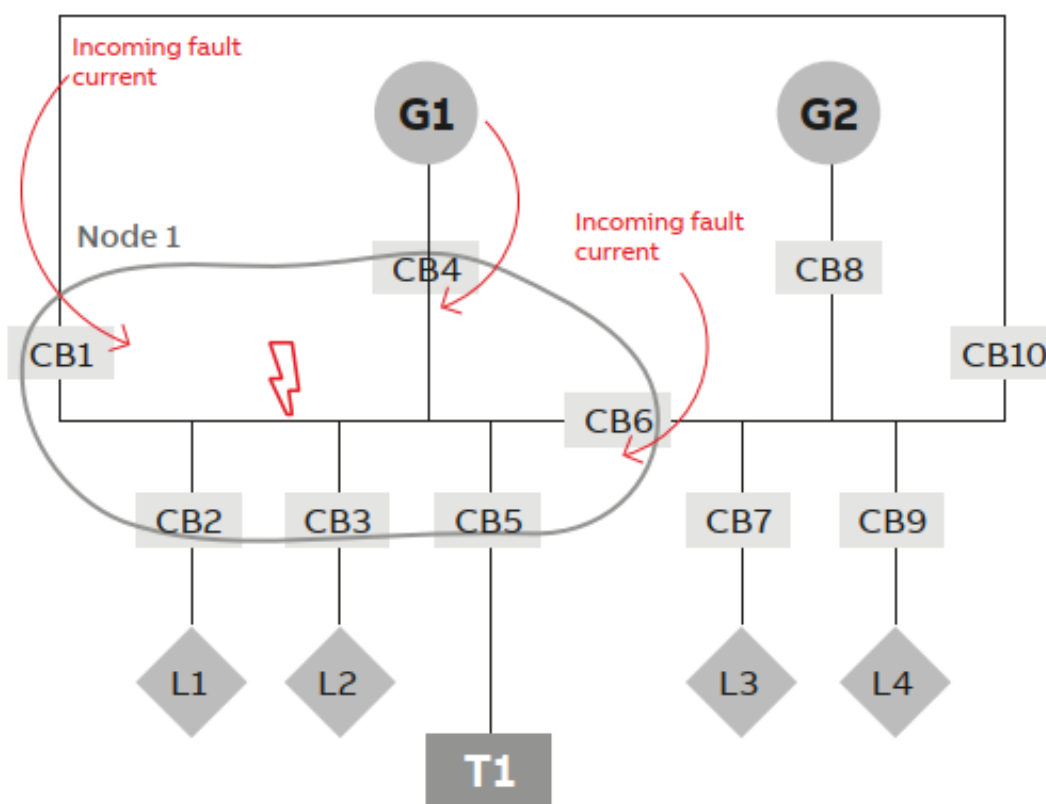


Kuva 7. Vyöhykeselektiivisyys (ST 53.45, 2015, 13)

#### 6.4 Selektiivisyys älykkäissä katkaisijoissa

Käytännön selektiivisyyden tarkasteluissa ongelmaksi tulee usein se, että samassa verkossa on useiden eri valmistajien suojaia käytössä. Niiden vertailu on työlästä, koska eri laitevalmistajien ohjelmat tuntevat usein vain omat tuotteensa. Vertailu vaatii paljon käsityötä, jotta kokonaisuudesta saadaan selvyys. Vertailu on helposti tehtävissä pienjännitepuolella laitevalmistajien ilmaisohjelmilla, suurjännitepuolen suojiin vertailu vaatii syvällisempää asiaan perehtymistä. (ST 53.13, 2017, 6)

Älykkäissä SACE Emax 2 katkaisijoilla varustettuna Ekip com modulilla pystytään toteuttamaan selektiivisyys katkaisijoiden välillä eikä tarvitse erikseen selektiivisyyttä tarkastella. Monimutkaisissa verkoissa katkaisijoille pitää määrittellä solmut, jos katkaisija havaitsee solmun ulkopuolelle menevää vikavirtaa, se lähettää lukitussanoman, joka on voimassa vain niille katkaisijoille jotka ovat solmussa tämän katkaisijan yläpuolella. Yksinkertaisimmillaan on vain 2 katkaisijaa solmun sisällä. Alla periaatekuva solmujen määrittämisestä älykkäiden katkaisijoiden sisällä.



Kuva 8. Solmujen määrittäminen älykkäissä katkaisijoissa (ABB Ekip Link 31 06 19, 2019, s.12)

## 7 SACE EMAX 2

Emax 2 katkaisijat ovat ratkaisu pienjännitejakelujärjestelmien ohjaamiseen. Ominaisuuksillaan katkaisijat vastaavat kaikkiin uusien sähköverkkojen vaatimuksiin. Emax 2 katkaisijoissa on IEC61557-12-standardin tarkkuusluokan 1 sertifiointi energian mittaukselle. Emax 2 katkaisijoiden toimintoja ovat esimerkiksi, tehon säätö, ATS (automaattinen syötönvaihto), rajapintasuojaus, mukautuva suojaus ja Synchrocheck-logic joka mahdollistaa verkonvaihdon mittaamalla katkaisijan sisäisistä jännitepitokkeista taajuuden, jotka toimivat kaikissa verkko olosuhteissa kuten merellä. Emax 2 katkaisijat tukevat kahdeksaa väyläprotokollaa ja takaa integroinnin kaikkiin automaatio- ja energianhallintajärjestelmiin.

Emax 2 katkaisijoita käytetään opinnäytetyöhön kohdistuvan laivan päätaulujen ohjaamiseen. Näihin katkaisijoihin liitetään Ekip Link- ja Ekip com moduuli (MODBUS) redundanttista kommunikointia varten. Alla kuva SACE Emax 2 katkaisijasta. (ABB, 2022)



Kuva 9. SACE Emax 2 katkaisija (ABB, 2022)

## 7.1 Ekip Link

Ekip Link on digitaalinen ratkaisu pienjännitejärjestelmille. Se hoitaa katkaisijoiden tiedonsiirron käyttämällä Ethernet pohjaista väylää. Kaikki katkaisijat voivat olla yhteydessä Ekip Linkillä, joka on kytketty katkaisijoihin Ethernet kaapelilla. Tämä ratkaisu voi lyhentää asennusaikaa 60 prosenttia. (ABB, 2022)

24V järjestelmässä jouduttaisiin tekemään monimutkainen kaapelointi, 3 kaapelia releiden välillä. Ekip Linkillä jokainen laite tarvitsee vain yhden Ethernet kaapelin. Etäisyys vähenee käytettäessä Ethernet kaapelia. Ethernet kaapelilla etäisyys saa olla vain 100m, optista kaapelia käyttäen etäisyys saa olla kuitenkin 100km, jota käytetään päätaulujen MS1 ja MS2 kytkennöissä hätätaululle ES1 pitkän välimatkan takia. Häiriöiden sietokyky on korkeampi Ekip Link systeemissä verrattuna 24V järjestelmään. Järjestelmän testaus on myös yksikertaisempi Ekip Linkillä ja sillä voidaan myös tehdä vaativa logiikkaohjaus ilman monimutkaisia johdotuksia tai releitä. Alla kuva Ekip Link moduulista. (ABB, 2022)



Kuva 10. Ekip Link moduuli (ABB, 2022)

### 7.1.1 Ekip Link kaapelisäästö

Laivassa päätaulujen kaapeloinnissa tehdään huomattava säästö väyläatkaisulla. Tämä johtuu siitä, ettei ohjauksia ja lukituksia tarvitse johdottaa erikseen tauluissa tai automaatiojärjestelmään. Taulujen sisältä säästetään Ekip Linkin avulla paljon tilaa, koska se hoitaa lukitukset eikä releitä tarvita siihen.

Hätätaululta päätauluille joudutaan käyttämään optista kaapelia yli 100m matkan takia. Hätätaulu ja hätägeneraattori sijaitsevat aina laivan yläkansilla. Tällä varmistetaan sähkösyöttö tärkeille koneistolle, vaikka konehuoneeseen ei olisi pääsyä.

Tässä on laskettu pelkästään katkaisijoiden ohjauksissa ja tilatiedoissa saavutettava kaapelisäästö. Katkaisijoiden tilatiedot (lauennut, auki, avautunut, kiinni, sulkeutunut) on jouduttu ennen viemään jokainen erillisellä johtimella. Laivan sähkönjakelussa TT-Line laivoissa on 28 katkaisijaa ja kun näistä jokaisesta pystytään ottamaan nämä 5 johdinta pois, se on suuri säästö. Laskemalla jokaisen johtimen pituudeksi 25m se on noin 3500m johdinta.

Kuvassa 10 näkyy propulsiotaulun akseligenaattorin katkaisijan 4Q1 yläpuolella sijaitseva keskus. Keskuksen yläosassa näkyy muuntajat, moottorisuojat ja johdonsuojakatkaisijat, alaosassa kontaktorit, releet ja riviliittimet. Kuvassa näkyy myös reikä, mistä kiristetään tarvittaessa myöhemmin virtakiskon liitäntä. Tämä on tehty, koska taulujen suunnittelussa ei ole huomioitu, että taulut sijoittuvat seiniä vasten tilan maksimoimiseksi ja taulun taakse ei ole mahdollista päästä.



Kuva 11. Katkaisijan 4Q1 yläpuolella sijaitseva keskus (FAT Aineisto, 2022)

## 8 PÄÄTAULUJEN TOIMINTA

PMS:sään (Power management system) määritellään miten sähköntuotanto toteutetaan. Normaalisti kaikki katkaisijat ovat etäohjauksessa jolloin niitä ohjaavat PMS toiminnot. Käsiohjaus ei ole mahdollista etäohjaus tilassa ja sama toisinpäin. Diesel generaattori 2 pitää olla synkronoitavissa kahdella itsenäisellä synkronointi laitteella, joista toinen pitää olla käsikäyttöinen.

Bustie katkaisijoilla tarkoitetaan katkaisijoita, joilla jaetaan taulujen sähkönsyöttö. PMS:ään määritetään olosuhteet, milloin bustie katkaisijan pitää avautua. Esimerkiksi kun neljäs syöttö laitetaan kiinni propulsiotauluun, pitää bustien katkaisijan avautua. (RMC, 2022, Sisäinen suunnitteluaineisto)

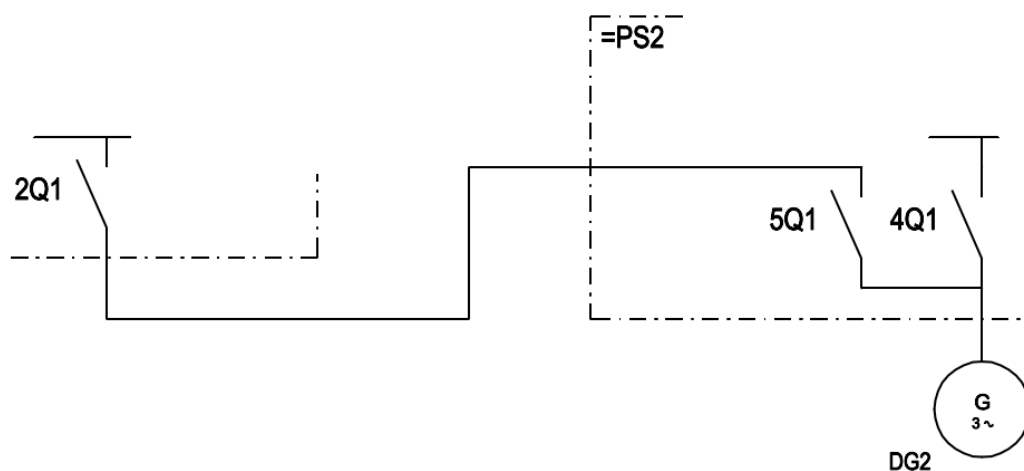
### 8.1 Generaattorin katkaisijan avaaminen

Etäohjauksessa annetaan katkaisu komento, joka aiheuttaa automaattisen kuormituksen siirtämisen. Kun generaattorin kuormitus on laskenut alle 5% PMS antaa signaalin taululle katkaisijan avaamiseksi. Jos taas generaattorin katkaisu johtuu automaattisesta pysäytyspyynnöstä, eli kuormituksesta johtuvasta pysäyttämisestä, generaattorin katkaisija avautuu ilman käyttäjän toimenpiteitä. (RMC sisäinen suunnitteluaineisto, 2022)

### 8.2 Propulsiotaulujen katkaisijoiden väliset lukitukset

Tässä käydään läpi propulsiotaulujen välillä olevan diesel generaattorin lukitusta hieman tarkemmin ja visuaalisemmin.

- Katkaisijat PS1/2Q1 ja PS2/4Q1 ovat lukittu keskenään eivätkä pysty sulkeutumaan samanaikaisesti (kuva 10.).
- 2Q1 ja 5Q1 ovat kiinni ja 5Q1 avautuu, pitää myös 2Q1 avautua. 2Q1 ei voi sulkeutua, jos 5Q1 on auki



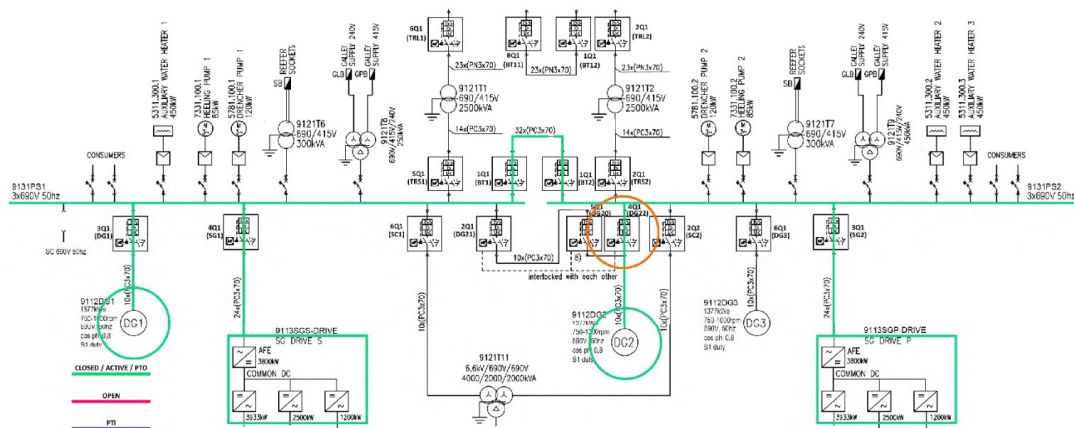
Kuva 12. Sähköjako (RMC sisäinen suunnitteluaineisto, 2022)



## 9 FAT

FAT (factory acceptance test) tarkoittaa laitteiston testausta toimittajan tiloissa. Testeissä laitteiston tilaaja tarkastaa toimittaja henkilöstön kanssa, että laitteisto vastaa sopimuksessa sovittuja määrittelyitä. Testissä tarkastetaan laitteiston toiminnot ja turvatoiminnot. Kaupantekovaiheessa sopimukseen voidaan määritellä mitä FAT:issa testataan. Tehdas kokeissa testattiin päätaulujen lukituksia, joista annetaan esimerkki seuraavaksi. Alla olevassa kuvassa näkyy esimerkki kuva tehdaskokeen yhdestä testistä.

Tässä testattiin PMS:sään määriteltyä lukitusta, neljännen syötön kytkeytyminen propulsiotaulujen virtakiskoon, kun propulsiotaulujen bustie katkaisijat ovat kiinni. PMS:sään on määritelty, kun neljäs syöttö kytkeytyy propulsiotauluhin PS1 ja PS2, pitää bustie katkaisijan avautua, ennen kuin Ekip Linkin lukitukset ryhtyvät toimenteisiin. Testissä neljäntenä virtakiskoon kytkettiin diesel generaattori 2, jonka jälkeen 90 sekunnin kuluttua bustie katkaisijan pitää avautua.

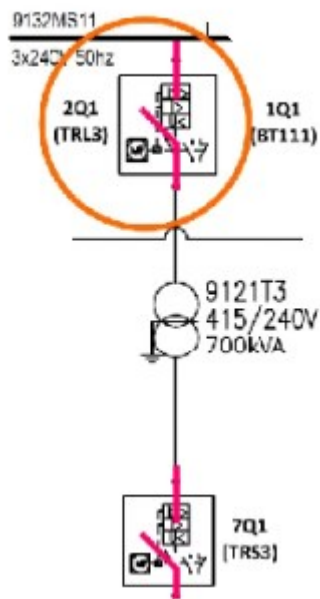


Kuva 13. Sähkönjakelu (FAT aineisto, 2022)

### 9.1 Muuntajien lukitukset

Muuntajiin on asetettu lukituksia Ekip Linkin kautta, joista annetaan kaksi esimerkkiä seuraavaksi.

- Kun ensiöpuolen katkaisija on auki, toisiopuolen katkaisija ei voi sulkeutua (kuva 14.).



Kuva 14. Muuntajien lukitukset (RMC sisäinen suunnitteluaineisto, 2022)

- Kun ensiö- ja toisiopuolenkatkaisijat ovat kiinni ja ensiöpuolen katkaisija avataan, pitää myös toisiopuolen avautua

## 10 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli tehdä kuvaus laivalle tehtävästä päätaulujen väyläratkaisusta. Tietoaineistoa kerättiin RMC:n sisäisestä suunnitteluaineistosta, ABB materiaaleista, ST kortistosta ja www-sivuilta.

Laivassa päätaulujen kaapeloinnissa tehdään huomattava säästö väyläratkaisulla. Tämä johtuu siitä, ettei kaikkia ohjauksia ja lukituksia tarvitse johdottaa erikseen tau-luissa. Suunnittelussa tehdään suuri säästö kytkentä- ja kaapelointikuvissa. Jatkumo osuu myös asennustöihin, joissa kaapelointi- ja kytkentätyö myös vähenee. Tästä taas seuraa, että keskuksista pystytään valmistamaan pienempiä ja kevyempiä, tilan sääs-täminen on myös tämän ratkaisun etuna. Tilankäytön maksimointi on aina tärkeää.

Tämä ratkaisu tullaan tekemään Raumalla seuraavaksi rakennettaviin laivoihin nimeltä TT-Line Spirit of Tasmania. Tästä päätauluksen väyläohjauksesta ei ollut hirveästi tietoa saatavilla julkisena koska tämä on uusi asia laivanrakennusteollisuudessa. Laivanrakennusteollisuudessa on kuitenkin pitkään käytetty väyläohjauksia esimerkiksi isojen taajuusmuuttajien ohjaamiseen.

Aloittaessa opinnäytetyötä minulla oli suppea käsitys, miten laivassa sähköjakelu toimii, päätauluksen ohjaamisesta tai säännöistä puhumattakaan. Tämän työn jälkeen mielestäni minulla on hyvä pohja tähän aihepiiriin. Loppujen lopuksi koen, että tämä työ oli todella hyödyllinen minulle, opin paljon uutta ja avaa minulle monia uusia ovia.

## LÄHTEET

ABB. (2022). Ekip Link. Viitattu 27.7.2022 osoitteesta

<https://new.abb.com/low-voltage/products/circuit-breakers/emax2/benefits/ekip-link>

ABB. (2022). Integrated IEDs approach. ABB Koulutus Materiaalit.

ABB. (2022). SACE Emax 2. Viitattu 27.7.2022 osoitteesta

<https://new.abb.com/low-voltage/fi/tuotteet/katkaisijat/emax-2>

Auma. (2022). Modbus TCP. Viitattu 27.7.2022 osoitteesta

<https://www.auma.com/fi/tuotteet/tiedonsiirtojaerjestelmaet/industrial-ethernet/modbus-tcp/>

DC Marine. (2000). Ship's electrical system described Viitattu 11.10.2022 osoitteesta

[https://www.dieselduck.info/machine/03%20electricity/electrical\\_sys.htm](https://www.dieselduck.info/machine/03%20electricity/electrical_sys.htm)

FAT aineisto. (2022).

International Maritime Organization. (2019). International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS), 1974. Viitattu 3.10.2022 osoitteesta

[https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Safety-of-Life-at-Sea-\(SOLAS\),-1974.aspx](https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Safety-of-Life-at-Sea-(SOLAS),-1974.aspx)

Lloyd's Register. (2022). About us. Viitattu 3.10.2022 osoitteesta

<https://www.lr.org/en/who-we-are/>

Marine insight. (2021). How is Power Generated and Supplied on a Ship? Viitattu 10.10.2022 osoitteesta

<https://www.marineinsight.com/marine-electrical/how-is-power-generated-and-supplied-on-a-ship/>

NorMaali. (2022). M/S Hammershus. Viitattu 18.07.2022 osoitteesta

<https://www.nor-maali.fi/referenssi/molslinjen-hammershus/>

Process Industry Forum. (2022). What is Fieldbus? Viitattu 3.10.2022 osoitteesta <https://www.processindustryforum.com/article/what-is-fieldbus>

Rauma Marine Constructions. (2021). TT-Linen kahden uuden matkustaja-autolautan kauppa vahvistaa RMC:n tilauskantaa merkittävästi. Viitattu 18.07.2022 osoitteesta <https://rmcfinland.fi/fi/uutiset/>

Rauma Marine Constructions. (2022). Rauman telakalla aloitettiin maailman eteläisimmän LNG-matkustaja-autolautan rakentaminen – RMC rakentaa Australian ja Tasmanian väliselle avomerireitille kaksi matkustaja-autolauttaa. Viitattu 18.07.2022 osoitteesta <https://rmcfinland.fi/fi/uutiset/>

Rauma Marine Constructions. (2022). Rauman telakka. Viitattu 18.07.2022 osoitteesta <https://rmcfinland.fi/fi/yrityksesta/rauman-telakka/>

Realspars. (2022). What is an Interlock. Viitattu 16.8.2022 osoitteesta <https://realpars.com/interlock/>

RMC sisäinen suunnitteluaineisto. (2022).

SFS-EN IEC 60947-1, Low-voltage switchgear and control gear. Part 1: General rules.2021, Suomen standardisoimisliitto.

ST kortisto, Kiinteistön sähköverkon suojausten selektiivisyys. (2017). Sähkötieto ry.

ST kortisto, Sulakkeeton suojaus. (2015). Sähkötieto ry.

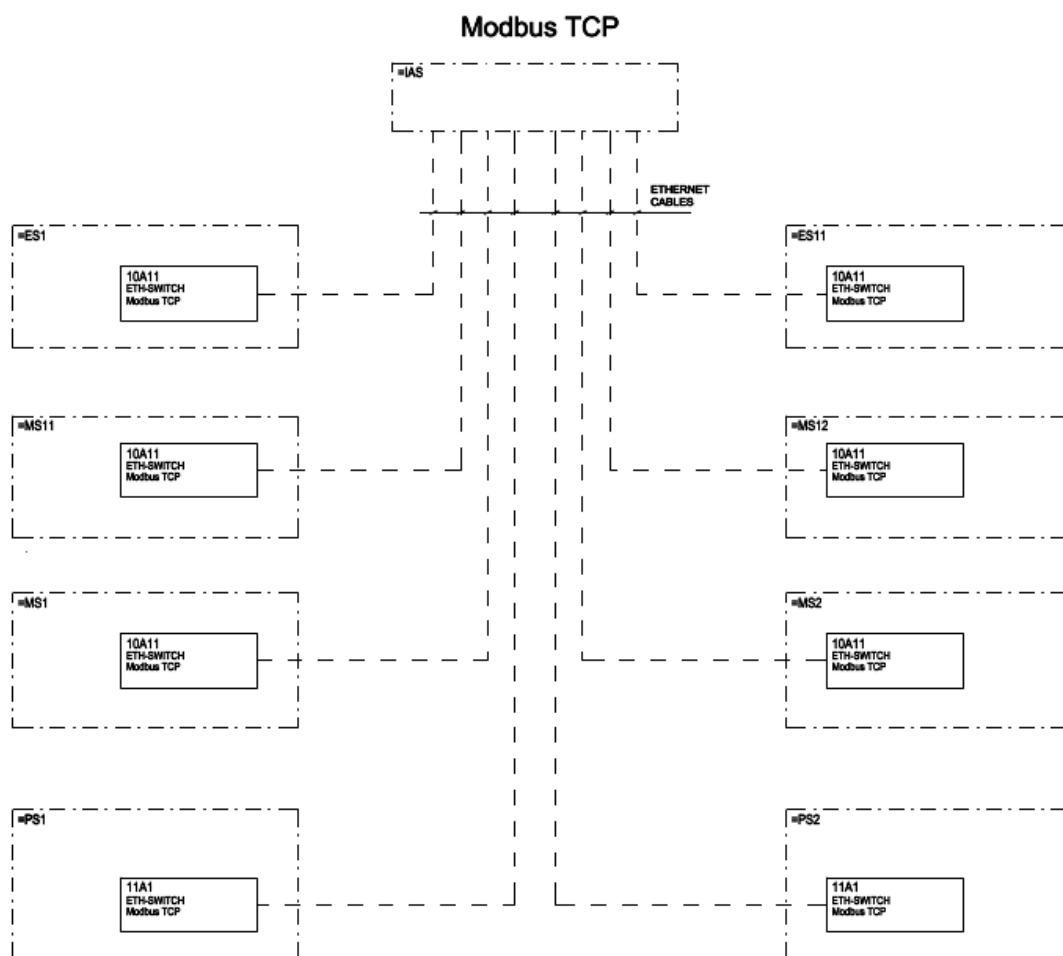
ST-käsikirja 31, Varavoimakoneet ja –laitokset. (2019). Sähkötieto ry.

Wago. (2022). NOPEA TIEDONSIIRTO AUTOMAATIO- JA KENTTÄLAITTEIDEN VÄLILLÄ: MODBUS. Viitattu 27.7.2022 osoitteesta <https://www.wago.com/fi/modbus>

Wärtsilä, (2022). Electrical system examples, Viitattu 23.8.2022 osoitteesta  
<https://www.wartsila.com/marine/products/ship-electrification-solutions>

Wärtsilä. (2022). Wärtsilä Shaft Generator Systems. Viitattu 3.10.2022 osoitteesta  
<https://www.wartsila.com/marine/products/ship-electrification-solutions/shaft-generator>

## LIITE 1



## ABB Ekip Link networks

