



# SWATH-aluksen sähkönjakelun suunnittelu

Jonne Larinen

OPINNÄYTETYÖ  
Kesäkuu 2024

Sähkö- ja automaatiotekniikka  
Automaatiotekniikka

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma  
Automaatiotekniikka

LARINEN, JONNE:  
SWATH-aluksen sähköjakelun suunnittelu

Opinnäytetyö 60 sivua, joista liitteitä 18 sivua  
Kesäkuu 2024

---

Tässä opinnäytetyössä suunniteltiin SWATH-aluksen sähköjakelujärjestelmä yhteistyössä Telesilta Oy:n kanssa. Työssä huomioitiin luokituslaitoksen vaatimuksia ja Yhdistyneen kuningaskunnan viranomaisten sääntöjä. Työssä käsitellään merenkulun itsenäistä sähköjärjestelmää ja sen eri toimintatapoja. Työssä esitellään myös laivan vaihtosähköjärjestelmää ja sen erilaisia maadoitusmenetelmiä. Tämän selvitystyön perusteella suunniteltiin SWATH-aluksen sähköjakelujärjestelmä.

Työssä tutkittiin erilaisia maadoitusmenetelmiä merenkulun sähköjärjestelmässä ja niiden vaikutuksia oikosulkuvirtoihin sekä sähköjakelun turvallisuuteen. Tämän perusteella suunniteltiin kustannustehokas ja turvallinen sähköjakelujärjestelmä alukseen. Perussuunnittelun osalta tehtiin alustava sähköbilanssi verkon kulutuksesta ja laadittiin yksiviivakaaviot CadMatic-suunnitteluohjelmalla. Lisäksi työssä hyödynnettiin ABB DOCweb:n oikosulkuvirtalaskelma työkalua muun muassa oikosulkuvirtalaskelmien ja selektiivisyys analyysin toteuttamiseen.

Tämän opinnäytetyön tuloksena on suunniteltu sähköjakelujärjestelmä suojauksineen, joka vastaa luokitusluokan vaatimuksia ja lippuviranomaisten asettamia sääntöjä. Suunnittelu on toteutettu perussuunnittelun osalta ja tuotoksen avulla voidaan suorittaa jatkotoimenpiteitä, joita ovat muun muassa kuvien hyväksyttäminen luokalle sekä komponenttien tilaaminen keskusten rakentamista varten. Tämä mahdollistaa etenemisen perussuunnitteluvaiheesta eteenpäin.

---

Asiasanat: laivan sähköverkko, oikosulkuvirta, maadoitusmenetelmät, luokituslaitokset

## **ABSTRACT**

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme in Electrical and Automation Engineering  
Automation Engineering

LARINEN, JONNE:  
Electrical Distribution Planning of a SWATH Vessel

Bachelor's thesis 60 pages, appendices 18 pages  
June 2024

---

The purpose of this thesis was to plan an electrical distribution for a SWATH vessel in collaboration with Telesilta Oy. The work considered the requirements of the classification class and the rules of the flag authorities. Moreover, the marine independent electrical system and its different modes of operation, as well as the ship's AC system and its different grounding methods were examined. Based on this background work, the SWATH vessel's electrical distribution system was developed.

The study investigated different grounding methods in the marine electrical system and their effects on short-circuit currents and the safety of electrical distribution. On this basis, a cost-effective and safe electricity distribution for the vessel was designed. For the basic design, a preliminary electrical balance of the network consumption was made, and single line diagrams were made up using the CadMatic design software. In addition, the ABB DOCweb short-circuit current calculation tool was used to perform short-circuit current calculations and selectivity analysis.

As a result of this thesis, an electrical distribution system complying with the requirements and regulations of the classification class and flag authorities was designed successfully with protection for the basic design. This will allow to carry out further steps, such as obtaining class approval for the drawings and ordering components for the construction of the switchboards. This enables progress beyond the basic design phase.

---

Key words: ship's electrical network, short-circuit current, grounding methods, classification societies

## SISÄLLYS

|    |  |    |
|----|--|----|
| 1  | JOHDANTO .....   | 6  |
| 2  | SWATH-ALUKSET .....  | 8  |
| 3  | MERENKULUN SÄHKÖJÄRJESTELMÄ.....                           | 9  |
|    | 3.1 Generaattori .....                                     | 9  |
|    | 3.2 Heräte .....   | 9  |
|    | 3.2.1 Harjallisen tahtikoneen heräte .....                 | 10 |
|    | 3.2.2 Harjattoman tahtikoneen heräte .....                 | 11 |
|    | 3.3 Generaattorien rinnankäyttö.....                       | 11 |
|    | 3.4 Generaattorin taajuuden säätö.....                     | 11 |
|    | 3.5 Automaattinen jännitteen säädin .....                  | 12 |
| 4  | SÄHKÖVERKKOJEN TYPIT LAIVOISSA .....                       | 13 |
|    | 4.1 Aluksen sähköjakelujärjestelmän valinta .....          | 14 |
|    | 4.2 Harmoniset yliaallot.....                              | 14 |
|    | 4.3 Kiinteä maadoitus.....                                 | 14 |
|    | 4.4 Impedanssin tai vastuksen avulla maadoitettu .....     | 15 |
|    | 4.5 IT-verkko .....  | 16 |
| 5  | OIKOSULKUVIRTA .....                                       | 17 |
|    | 5.1 Kolmivaiheinen oikosulku .....                         | 17 |
|    | 5.2 Kaksivaiheinen oikosulku .....                         | 18 |
|    | 5.3 Maasulkuvirta maadoitetussa järjestelmässä .....       | 18 |
|    | 5.4 Maasulkuvirta maadoittamattomassa järjestelmässä ..... | 19 |
|    | 5.5 Maasulun valvonta .....                                | 20 |
| 6  | LUOKITUSLAITOKSET .....                                    | 22 |
|    | 6.1 Yleisimmät vaatimukset sähköjakelussa .....            | 23 |
|    | 6.2 Hätlähteen yleisvaatimukset.....                       | 24 |
| 7  | PERUSSUUNNITTELUN ALOITUS.....                             | 26 |
|    | 7.1 Aluksen erittely.....                                  | 26 |
|    | 7.2 Suunnittelun aloituspalaveri .....                     | 27 |
| 8  | SÄHKÖBILANSSI .....  | 28 |
| 9  | SÄHKÖNJAKELUN SUUNNITTELU.....                             | 31 |
|    | 9.1 Yksiviivakaaviot.....                                  | 31 |
|    | 9.1.1 Sähköverkon kuvaus .....                             | 32 |
| 10 | OIKOSULKUVIRTA LASKELMAT .....                             | 35 |
|    | 10.1 Verkon selektiivisyys.....                            | 36 |
| 11 | POHDINTA .....   | 38 |
|    | LÄHTEET.....   | 40 |

|  |    |
|--|----|
| LIITTEET .....   | 42 |
| Liite 1. Sähköbilanssi .....                                     | 42 |
| Liite 2. Tasasähköverkon yksiviivakaaviot .....                  | 49 |
| Liite 3. Oikosulkuvirtalaskelmat ja selektiivisyysanalyysi ..... | 53 |

## 1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on toteuttaa SWATH-aluksen sähköjakelun suunnittelu yhteistyössä Telesilta Oy:n kanssa. Telesilta on vuonna 1978 perustettu ja nykyisin Harju Elekter Group:n kuuluva sähköalan suunnittelu- ja urakointiyritys. Telesilta on erikoistunut laivateollisuuden ja teollisuuskiinteistöjen sähköurakointiin, jossa se toimittaa tarvittaessa kaiken suunnittelusta asennukseen, käyttöönottoon sekä huoltoon. (Telesilta Oy 2024.)

Meriteollisuudessa toimivien alusten sähköjärjestelmien suunnittelussa on keskeisessä osassa niiden turvallisuus, luotettavuus ja tehokkuus (International Maritime Organization (IMO) 2008). Tässä opinnäytetyössä keskitytään SWATH-aluksen sähköjakelujärjestelmän suunnitteluun. Erityishuomio kohdistetaan suunnitteluvaiheessa sähköverkkojen erilaisiin maadoitusmenetelmiin ja aluksen luokituslaitokseen. Projektissa noudatetaan myös Yhdistyneen kuningaskunnan viranomaisten asettamia vaatimuksia ja turvallisuusstandardeja.

Työn alussa käsitellään yleisesti merenkulun sähköjärjestelmää sekä sähköverkkojen eri tyyppejä laivoissa. Työssä käydään läpi sähköjärjestelmien eri maadoitusmenetelmiä ja niiden vaikutuksia oikosulkuvirtoihin. Tämän avulla selvitetään SWATH-alukselle mahdollisimman parhaiten soveltuva sähköverkko. Käsittelyssä ovat muun muassa kiinteä maadoitus, impedanssilla tai vastuksella maadoitettu ja eristetty IT-verkko.

Luokituslaitosten vaatimukset ovat tärkeässä roolissa, kun suunnitellaan meriteollisuudessa toimivien alusten sähköjakelua. Luokituslaitosten vaatimusten tarkastelu sekä ymmärtäminen auttavat varmistamaan aluksen turvallisen ja luotettavan sähköjakelun, sekä täyttämään tarvittavat turvallisuusstandardit. (International Maritime Organization (IMO) 2008.)

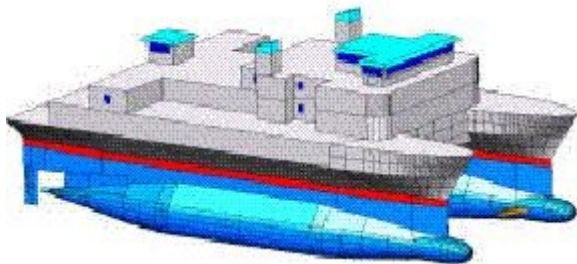
Opinnäytetyön tavoitteena on suunnitella kustannustehokas sähköjakelujärjestelmä SWATH-alukselle, jonka avulla pyritään varmistamaan alukselle luotettava ja toimintavarma sähköjakelu. Tavoitteena on toteuttaa perussuunnittelun osa-alueet, kuten aluksen sähkökulutuksen arviointi eli

sähköbilanssi, yksiviivakaavioiden luominen verkon rakenteen selkeyttämiseksi ja sähköverkon kuvauksen laatiminen. Lisäksi perussuunnittelun osa-alueisiin sisältyy oikosulkuvirtalaskelmien ja selektiivisyysanalyysien toteutus, jotka ovat keskeisiä tekijöitä tehokkaan ja turvallisen sähkönjakelujärjestelmän suunnittelussa.

## 2 SWATH-ALUKSET

Tässä opinnäytetyössä suunnitellaan sähkönjakelujärjestelmä SWATH-aluksiin, jotka tulevat toimimaan Pohjanmerellä offshore-tuulivoimaloiden huoltotöissä. Telesilta Oy sai tilauksen kolmesta hybridivalmiista SWATH-aluksesta tammikuussa 2024, ja ensimmäisen aluksen odotetaan valmistuvan vuonna 2025. Telesilta Oy toimittaa näihin aluksiin suunnittelusta käyttöönottoon sähkö-, automaatio-, ja navigointijärjestelmät. (Harju Elekter 2024.)

SWATH-alus (Small Waterplane Area Twin Hull) on katamaraanityyppinen alus, jonka erikoisuutena ovat kaksi sukellusveneeseen kaltaista kelluvaa runkoa, jotka ovat veden alla. Aluksen rakenne mahdollistaa tarvittavan kelluvuuden ja minimoi vedenpinta-alaa mahdollisimman paljon, joka vähentää veden vastusta. Alus on erittäin vakaa ja pysyy rauhallisena vedessä, jopa vaikeissa sääolosuhteissa sen rakenteen vuoksi. (Wärtsilä 2024.)



KUVA 1. SWATH-aluksen runko (Wikipedia 2024).



### 3 MERENKULUN SÄHKÖJÄRJESTELMÄ

Merenkulun sähköjärjestelmän suurin ero maalla sijaitsevaan järjestelmään ilmenee siinä, että merenkulun sähköjärjestelmä on täysin eristetty järjestelmä, jossa etäisyydet tuotetusta sähköstä kuluttajille ovat lyhyitä. Verrattuna maalla sijaitsevaan järjestelmään, jossa sähköntuotannon ja kuluttajien välinen etäisyys voi olla satoja kilometrejä. (ABB 2003, 15.)

#### 3.1 Generaattori

Merenkulussa sähköenergian lähteenä toimii lähes aina kolmivaiheinen tahtigeneraattori, jota käytetään polttomoottorilla. Useimmiten diesel- tai polttoainekäyttöinen. (ABB 2003, 16.) Polttomoottori pyörittää generaattorin roottoria, joka tuottaa magnetoituna jännitteen staattorin kolmelle identtiselle staattorikelalle eli jokaiselle vaiheelle. Kolmivaiheiset jännitteet ovat suuruudeltaan yhtä suuria, mutta ajoittuvat  $120^\circ$  aikaeroon toisistaan. (Patel 2011, 77.)

Kolmivaiheiset staattorivirrat tuottavat magneettikentän, joka pyörii samassa tahdissa roottorikentän kanssa, josta tulee nimitys tahtikone. Roottorikenttä pyörii staattorikenttää edellä maksimissaan  $90^\circ$ , sillä tämän raja-asteen jälkeen kentät eivät enää seuraisi toisiaan magneettisessa lukkiutumisessa, ja koneesta tulisi epävakaa. (Patel 2011, 81.)

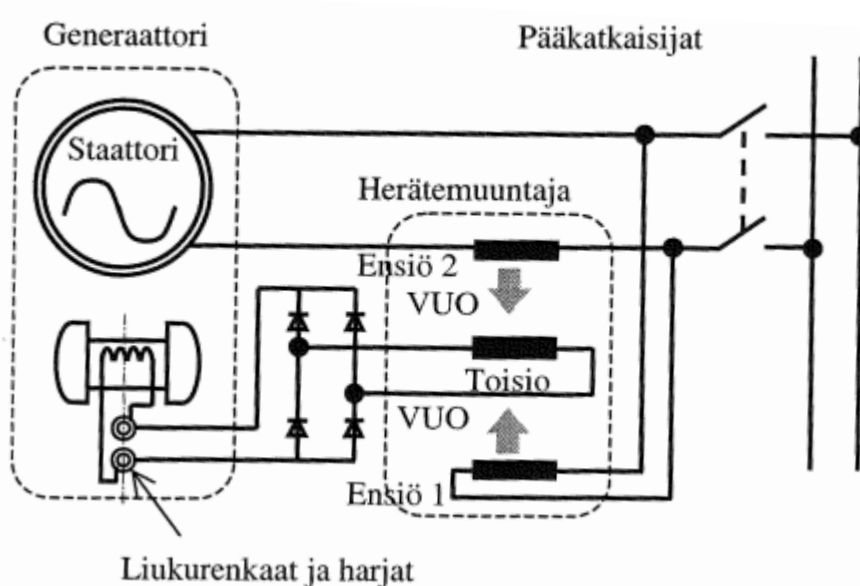
#### 3.2 Heräte

Generaattori tarvitsee tuottaakseen jännitettä herätteen, jolloin roottorin napoihin syötetään tasavirtaa sen magnetoimiseksi. Ennen generaattorien herätemenetelmä toteutettiin syöttämällä tasavirtaa hiiliharjojen ja liukurenkaiden avulla. (Häkkinen 2003, 34.) Nykyajan generaattorit ovat kehittyneet ja sisältävät harjattoman herätteen, joka vähentää huolto- ja seisonta-aikoja (ABB 2003, 17).

### 3.2.1 Harjallisen tahtikoneen heräte

Harjallisessa tahtikoneessa magnetoimisvirta ohjataan roottorikäämiin käyttäen hiiliharjoja ja liukurenkaita. Tämä tapahtuu joko ulkoisen tasa- tai vaihtosähkölähteen avulla. Tasasähkölähteenä voi toimia joko pääkoneen roottorin kanssa samalla akselilla oleva tasavirtageneraattori tai erillinen tasasähkölähde. (Häkkinen 2003, 34.)

Generaattorilta lähtevää jännitettä säädetään säätämällä magnetointia, sillä staattorin magneettivuon voimakkuus vaikuttaa generaattorin tuottamaan jännitteeseen. Harjallisen tahtikoneen yksi säätömenetelmistä on kuvassa 2 esitetty Kompound-järjestelmä, jossa tyhjäkäyntimagnetointi otetaan kiinteällä tasasuuntaajalla generaattorin navoista. Generaattorin kuorman kasvaessa, tasasuuntaajan syöttöä lisätään kuormitusvirrasta riippuvalla määrällä. Kuorman vähentyessä syöttöä pienennetään. Järjestelmän heikkouksia ovat muun muassa epätarkkuus ja useamman generaattorin rinnankäytön vaikeus, sillä järjestelmästä puuttuu varsinainen jännitteensäätäjä. (Häkkinen 2003, 34.)



KUVA 2. Kompound-herätejärjestelmä, näkyvissä vain yksi vaihe (Häkkinen 2003, 34).

Generaattorin napajännitettä pystytään ohjaamaan myös tyristoritasasuuntaajalla, joka on elektroninen säätäjä. Sen avulla generaattorin napajännite saadaan pysymään vakiona ja säätö on nopea tarkka. Edellä

mainituissa menetelmissä tärkeintä on, että generaattorissa tulee olla liukurenkaat ja hiiliharjat, mutta erillistä magnetoimikonetta ei tarvita. (Häkkinen 2003, 35.)

### **3.2.2 Harjattoman tahtikoneen heräte**

Harjattoman tahtikoneen akselilla sijaitsee pieni vaihtovirtageneraattori, joka toimii magnetoimikoneena. Tämän avulla luodaan magnetoimisvirta pyörivästä ankkurista. Magnetoimiskoneen navat ovat kiinteästi sijoitettuina staattoriin, ja niitä voidaan syöttää suoraan ulkopuolelta. Tarvittava magnetoimisvirta on tässä tapauksessa suhteellisen pieni. (ABB 2000, 11.)

### **3.3 Generaattorien rinnankäyttö**

Generaattorien toimiessa rinnakkain ne jakavat sähkökuorman keskenään, ja siksi niiden täytyy olla synkronoituja toisiinsa. Tämä tarkoittaa sitä, että niiden taajuuksien ja jännitteiden on oltavat yhtä suuret. Jos toinen generaattoreista hidastuu lyhytaikaisesti jostain syystä, tuottaa se silloin vähemmän sähkötehoa. Tällöin toinen generaattoreista ottaa enemmän kuormaa ja hidastuu hieman auttaakseen tasapainottamaan järjestelmää. Tämä säätö jatkuu, kunnes molemmat generaattorit toimivat jälleen samalla nopeudella ja tuottavat täsmälleen saman taajuuden. (Patel 2011, 95–96.)

### **3.4 Generaattorin taajuuden säätö**

Generaattorin tuottamaa taajuutta ohjataan polttomoottorin nopeudella, jolloin sähkökuorman kasvaessa generaattorin taajuus sekä polttomoottorin nopeus laskevat. Tässä tilanteessa automaattinen nopeudensäädin lisää polttoaineen syöttöä polttomoottorille pitääkseen roottorin nopeuden tasaisena. Automaattisessa nopeudensäätimessä on hystereesiä, joka mahdollistaa pienen nopeuden laskun ilman välitöntä reaktiota. Kun generaattorin kuormitus kasvaa, roottorin pysyväsnopeus vähenee hieman johtuen hystereesistä. Vaikka automaattinen nopeudensäätö olisi käytössä, polttomoottorin säätimet eivät pysty ylläpitämään täysin vakioita nopeuksia. Tämän seurauksena

polttomoottorin nopeus laskee hieman generaattorin kuorman kasvaessa. (Patel 2011, 93–94.)

### **3.5 Automaattinen jännitteen säädin**

AVR (Automatic Voltage Regulator) on automaattinen jännitteen säädin, joka toimii PID-säätimen tavoin. Äkilliset kuorman lisääntymiset laskevat jännitettä ja vastaavasti kuorman vähennykset nostattavat jännitettä. (Häkkinen 2003, 35.) Säätimessä on pysyvä rajoitettu integrointivaikutus, joka aiheuttaa jännitepudotuksen generaattorin kuorman mukaan. Jännitepudotus varmistaa reaktiivisen tehon tasaisen jakautumisen rinnankytkettyjen generaattoreiden kesken. (ABB 2003, 17.) AVR havaitsee jännitteen päägeneraattorin käämeissä ja säätelee jännitettä pitääkseen generaattorin ulostulojännitteen asetetuissa rajoissa kompensoimalla kuormitusta, nopeutta, lämpötilaa ja generaattorin tehokerrointa (Patel 2011, 101).

## 4 SÄHKÖVERKKOJEN TYYPIT LAIVOISSA

Alukset tarvitsevat suuren mekaanisen tehon työntövoimaa varten ja pienen sähkötehon normaaleja palvelukuormia varten. Aluksen voimajärjestelmä luokitellaan riippuen siitä, onko alus varustettu mekaanisella vai sähköisellä voimanlähteellä. (Patel 2011, 35.)

Mekaaninen voimansiirto on perinteinen järjestelmä, jossa päämoottori pyörittää suoraan potkuria pitkän akselin avulla samalla kun aluksen sähköiset palvelukuormat saavat virtansa palvelugeneraattoreilta. Tämä järjestelmä on yleinen nykyaikaisissa rahtialuksissa. (Patel 2011, 35.)

Sähköavusteisessa voimansiirrossa potkureita pyörittävät suuret sähkömoottorit, jotka saavat virtansa omista propulsiogeneraattoreistaan. Laivan normaalit palvelukuormat tuotetaan erillisillä palvelugeneraattoreilla. Tähän luokkaan kuuluvat useimmat matkustajaristeilyalukset. (Patel 2011, 35.)

Integroidussa sähkölaivassa kaikki tarvittava teho tuotetaan päägeneraattoreilla, mukaan lukien työntövoima ja aluksen palvelukuormat. Palvelukuormaa syötetään muuntajien välityksellä. Tämä järjestelmä on yleinen merivoimien aluksissa, joissa tarvitaan suurta kuormitustarvetta taistelutilanteissa. Tällöin voidaan poistaa palvelukuormia käytöstä ja ohjata täten enemmän tehoa taisteluaseille. (Patel 2011, 35.)

Täysin sähkökäyttöinen alus viittaa aluksiin, joissa perinteiset apulaitteet, kuten höyry-, paineilma- tai hydraulijärjestelmät, ovat korvattu sähkökäyttöisillä vastineilla. Vasta tämä tekisi aluksista täysin sähkökäyttöisen. (Patel 2011, 35.)

Tämän opinnäytetyön SWATH-aluksessa käytetään mekaanista voimansiirtoa, jossa päämoottorit pyörittävät potkureita ja aluksen palvelukuormat saavat syöttönsä erillisten generaattoreiden avulla.

#### **4.1 Aluksen sähköjakelujärjestelmän valinta**

Laivoissa lähes kaikki vaihtosähköjärjestelmät ovat joko 3-vaiheisia kolmijohdin järjestelmiä ilman nollajohtimia tai 3-vaiheisia järjestelmiä, joissa on neljä johdinta. Nelijohdinjärjestelmät voivat olla joko maadoittamattomia tai maadoitettuja nollajohtimella. (Patel 2011, 35–36.) Laivanrakennusstandardit suosittelevat maadoittamatonta eristettyä sähköjakelujärjestelmää luotettavuuden vuoksi, kun taas henkilöturvallisuuden kannalta suositellaan maadoitettua verkkoa. Kummallakin sähköjakelujärjestelmällä on kuitenkin omat etunsa ja haittansa. (Patel 2011, 191.)

Sähköverkkoa suunnitellessa laivoihin ensisijaisesti tärkeimpänä pidetään ihmisten turvallisuutta ja toissijaisesti laitteiden turvallisuutta. Elintärkeiden laitteiden menetys voi kuitenkin vaarantaa aluksen turvallisuutta ja näin ollen heikentää myös ihmisten turvallisuutta. (Borstlap & Katen 2011, 18.)

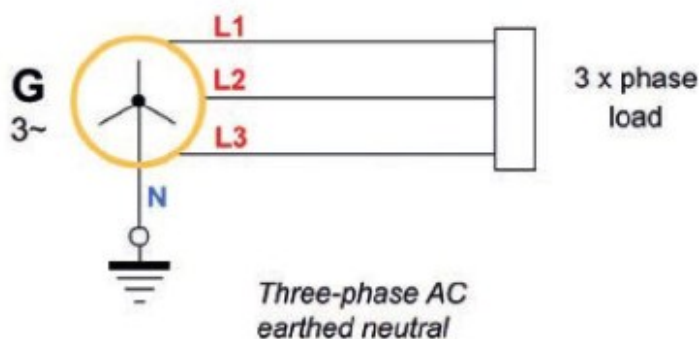
#### **4.2 Harmoniset yliaallot**

Aluksen sähköjärjestelmän suunnittelussa on olennaista ottaa huomioon harmoniset yliaallot, jotka voivat aiheuttaa häiriöitä tärkeisiin kuluttajiin, kuten radio- ja kaikuluotainsignaaleihin. Vaikka harmonisista yliaalloista ei pääsekään kokonaan eroon, niiden vaikutusta voidaan lieventää sähköjärjestelmän suunnitteluratkaisuilla. Generaattorin tähtipisteen maadoittaminen voi kolminkertaistaa harmonisten yliaaltojen taajuuden, jotka syntyvät tehoelektroniikkakuormista. Pahimmassa tapauksessa nämä harmoniset yliaallot voivat aiheuttaa vakavia vaurioita sähkölaitteille ja heikentää aluksen sähköjärjestelmän toimintaa. (Patel 2011, 192.)

#### **4.3 Kiinteä maadoitus**

Teollisuudesta tutulla kiinteällä maadoitusjärjestelmällä pystytään varmistamaan mahdollisimman suuri maasulkuvirta. Generaattorin nollapistettä maadoitettaessa kuvan 3 mukaisesti on noudatettava varovaisuutta, sillä nollaja vaihejohtimen välistä maasulkuvirtaa rajoittaa generaattorin nollasekvenssireaktanssi. Näin ollen maasulkuvirran vaikutus voi olla jopa 1,5–

kertainen normaaliin symmetriseen kolmivaihe vikavirtaan verrattuna. Pahimmassa tapauksessa tämä voi aiheuttaa vaurioita koneen ytimeen. (R. Ball 1982, 5.)



KUVA 3. Generaattorin tähtipiste maadoitettu kiinteästi (T.Hall 2019, 32).

Toinen ongelma kiinteän maadoituksen kanssa ilmenee, kun kaksi generaattoria on kytketty rinnakkain ja molempien generaattoreiden nollajohtimet on kiinteästi maadoitettu. Tässä tilanteessa nollajohtimien maadoitukset luovat reitin kolmannen harmonisen virran kiertämiselle. Tämä kolmannen harmonisen virran kiertäminen voi aiheuttaa generaattoreiden ylikuumentumista ja johtaa suojalaitteiden virheelliseen toimintaan, jotka valvovat nollajohtimia. (R. Ball 1982, 5.)

#### 4.4 Impedanssin tai vastuksen avulla maadoitettu

Kiinteällä tai pienellä impedanssilla maadoitetun järjestelmän hyviä puolia on, että laitteiden eristykseen ei tarvitse kiinnittää erityistä huomiota, sillä maasulkutilanteessa katkaisijat laukeavat automaattisesti. Maasulku tilanteessa maasulkuvirta kulkee lyhyen ajan, jolloin vauriot rajoittuvat. (Borstlap & Katen 2011, 20.)

Pienellä impedanssilla maadoitettu sähköjärjestelmä voi olla 3-vaiheinen ja 4-johdin järjestelmä, jossa nollajohdin on maadoitettu käyttäen runkoa paluujohtimena. Toinen vaihtoehto on 3-vaiheinen ja 4-johdin järjestelmä, joka ei käytä runkoa nollajohtimena. Tämä sähköjärjestelmä on TN-S järjestelmä, jota käytetään myös maapuolella. Laivoissa yleensä hotellikuorma tai valaistuskeskuksiksi nimetyt 230 V:n jakelutaulut sisältävät nollajohtimen. Näissä

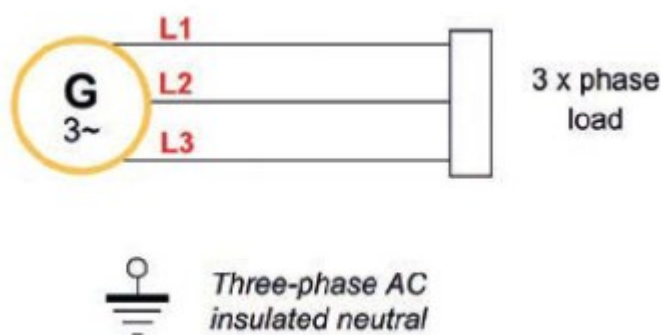
tilanteissa, kun muu verkko on eristettyä IT-verkkoa, voidaan nolla lisätä järjestelmään valaistusmuuntimen tähtipisteestä. (Borstlap & Katen 2011, 20.)

Maadoitusvastus kytketään generaattorin nollapisteen ja rungon väliin. Vastus rajoittaa maasulkuvirran pieneen arvoon, joka on kuitenkin riittävän suuri varmistamaan suojalaitteiden asianmukaisen toiminnan. Suurella impedanssilla maadoitetun järjestelmän hyvä puoli on se, että sillä on alhainen maasulkuvirta, joka rajoittaa vaurioita ja vähentää tulipalon riskejä. (Borstlap & Katen 2011, 20–21.)

#### 4.5 IT-verkko

Kelluvaksi verkoksi kutsuttua IT-verkkoa pidetään luotettavana sähkönjakelujärjestelmänä, sillä sen nollapiste on eristetty laivan rungosta. Tästä syystä sitä kutsutaan myös eristetyksi verkoksi. (Borstlap & Katen 2011, 18.)

IT-verkon hyviä ominaisuuksia ovat jatkuva sähkönjakelu maasulkutilanteen yhteydessä sekä ensimmäisen maasulun aiheuttaman maasulkuvirran matalana pysyminen. Kuvassa 4 esitetään eristetyn IT-verkon rakenne. On kuitenkin tärkeää selvittää ja poistaa ensimmäinen maasulku eristetyssä verkossa mahdollisimman nopeasti. Tällä tavoin voidaan välttää suuren oikosulkuvirran syntyminen toisesta maasulusta, joka voi olla suurempi kuin laitteiden mitoituksessa tarkoitettu kolmivaiheinen vikavirta. Näin vältetään korjauskelvottomilta vaurioilta. (Borstlap & Katen 2011, 19–20.)



KUVA 4. Eristetty IT-verkko (T.Hall 2019, 32).



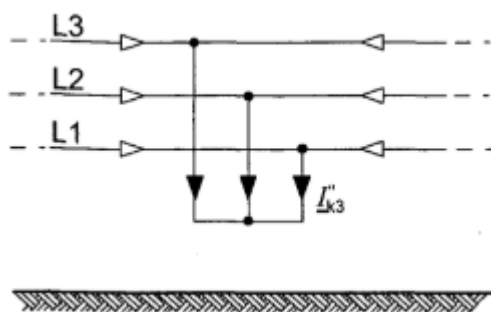
## 5 OIKOSULKUVIRTA

Merenkulun sähköjärjestelmä on suunniteltava myös siten, että kaikki mahdolliset varotoimenpiteet on toteutettu oikosulkuvirtojen syntymisen estämiseksi. Oikosulkuvirran laskennan tavoitteena on varmistaa, että järjestelmä ja sen komponentit kestävät oikosulkuolosuhteiden vaikutukset ja näin ollen rajaavat tästä aiheutuvat vahingot mahdollisimman pieniksi. Järjestelmän oikosulkuvirtasuojaus toteutetaan tavallisesti sulakkeilla ja katkaisijoilla. Oikosulkuvirta laskelmia voidaan käyttää apuna laitteiden valitsemisessa, jotta varmistutaan tarpeellisesta suojauksesta. Oikosulku voi tapahtua vahingossa, kytkentävirheestä tai silloin kun kaapelin eristeet pettävät. (International Standards (IEC) 2006, 13.)

Suurin osa maasulkuvioista syntyy sähkölaitteiden eristysvian tai löysän johtimen vuoksi, jolloin jännitteinen johdin pääsee kosketuksiin laitteen maadoitetun metallikotelon kanssa. Ensisijainen vaatimus aluksella on ylläpitää keskeisten laitteiden sähkönsyötön jatkuvuus maasulun sattuessa. Tämä edellyttää, että sähköjärjestelmän suunnittelussa otetaan huomioon maasulkujen vaikutukset ja varmistetaan järjestelmän luotettava ja turvallinen toiminta kaikissa tilanteissa. (T.Hall 2019, 33.)

### 5.1 Kolmivaiheinen oikosulku

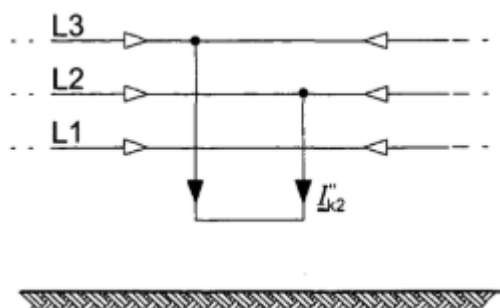
Kolmivaiheinen symmetrinen oikosulku syntyy, kun kaikki kolme vaihetta ovat samanaikaisesti kosketuksissa toisiinsa kuvan 5 mukaisesti. Kolmivaiheinen oikosulku on symmetrinen, sillä siihen vaikuttaa vain myöntäisimpedanssit eli tyypilliset oikosulkuimpedanssit. Kolmivaiheinen oikosulkuvirta on lähes aina suurin mahdollinen oikosulkuvirta. Ainoastaan generaattoreiden lähetyvillä voi esiintyä tilanteita, joissa pysyvän tilan kaksivaiheinen oikosulkuvirta voi olla suurempi. (Kari Huotari 1998, 9–11.)



KUVA 5. Kolmivaiheinen oikosulku (International Standards (IEC) 2001, 37).

## 5.2 Kaksivaiheinen oikosulku

Toiseksi yleisin oikosulku aluksilla on kaksivaiheinen. Tämä syntyy, kun kaksi vaihetta on samanaikaisesti yhteydessä toisiinsa, kuten kuvassa 6 on esitetty. Kaksivaiheinen oikosulku rappeutuu yleensä kolmivaiheiseksi. (Metz-Noblat, Dumas & Poulain 2005, 6-12.)



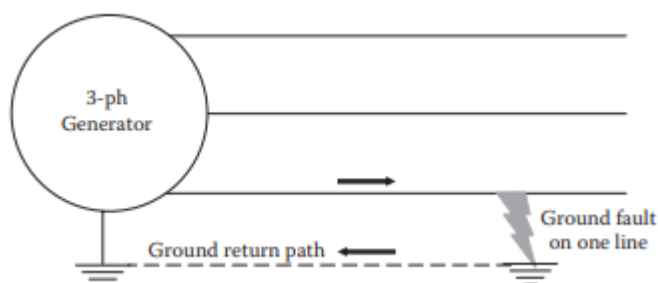
KUVA 6. Kaksivaiheinen oikosulku (International Standards (IEC) 2001, 37).

## 5.3 Maasulkuvirta maadoitetussa järjestelmässä

Aluksilla tapahtuvien vikojen yleisin syy on maavuodot eli maasulkuviat, jotka syntyvät, kun jännitteiset johtimet joutuvat kosketuksiin maan eli aluksen rungon kanssa (Borstlap & Katen 2011, 18).

Maadoitetussa järjestelmässä nolajohto on yhdistetty laivan runkoon, jolloin maavuoto tilanteessa maasulkusilmukka aiheuttaa suuren oikosulkuvirran, joka laukaisee suojalaitteet. Tämä havainnollistuu kuvassa 7, jossa huomataan tapahtuvan täydellinen maasulkusilmukka maadoitetussa verkossa.

Ensimmäisestä maavuodosta katkaisija katkaisee piirin automaattisesti. On tärkeää ottaa huomioon, että maadoitetussa järjestelmässä maavuodon aiheuttama virta voi olla suuri ja aiheuttaa laajoja vahinkoja. (Patel 2011, 191; Borstlap & Katen 2011, 19–20.)

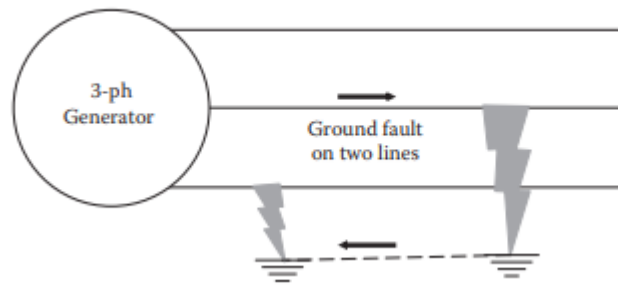


KUVA 7. Yhden vaiheen maasulkuvika maadoitetussa järjestelmässä (Patel 2011, 192).

#### 5.4 Maasulkuvirta maadoittamattomassa järjestelmässä

Maadoittamattomassa järjestelmässä ensimmäinen maasulkuvika ei aiheuta maasulkusilmukkaa, ja täten sähkösyöttö ei katkea suojalaitteiden toimesta. Täydellistä maasulkusilmukkaa ei pääse syntymään, sillä järjestelmä on eristetty aluksen metallirakenteesta. Tämä voi olla suuri etu elintärkeille laitteille laivoissa, joille edellytetään sääntöjen mukaisesti jatkuvaa sähkönsyöttöä, kuten ohjauslaitteistolle. (Borstlap & Katen, 2011, 18; Patel, 2011, 191; T.Hall 2019, 35.)

Ensimmäisen maavuodon löytäminen maadoittamattomassa järjestelmässä voi olla haastavaa. Maavuoto ei paljastu itsestään ja sen vian löytäminen edellyttää piirien kytkemistä päälle ja pois kunnes vika katoaa. (Borstlap & Katen 2011, 18.) Jos maadoittamattomassa järjestelmässä pääsee tapahtumaan kuvan 8 mukaisesti toinenkin maasulkuvika, täyttyy maasulkusilmukka, joka laukaisee suojalaitteen suuren vikavirran seurauksena (Patel 2011, 191).



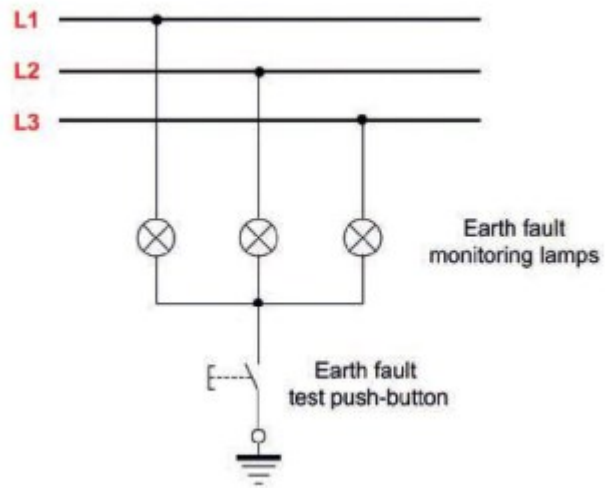
KUVA 8. Kahden vaiheen aiheuttama maasulkusilmukka maadoittamattomassa järjestelmässä (Patel 2011, 192).

Maavuodon sattuessa sen vika on suositeltavaa korjata mahdollisimman nopeasti, sillä aina on vaarana, että vika laajenee vaiheiden välille aiheuttaen laajoja laitevaurioita tai tulipalon riskejä (Borstlap & Katen 2011, 21).

### 5.5 Maasulun valvonta

Eristetyssä verkossa on asennettava pääkeskukseen maasulkumonitori, joka ilmaisee maasulkuvian esiintymisen verkon jokaisessa jakeluosassa. Maasulun valvontalaite voi olla esimerkiksi merkkilampuista koostuva tai erillinen valvontalaite, joka näyttää järjestelmän eristysresistanssin arvon suhteessa aluksen runkoon. (T.Hall 2019, 36.)

Merkkilampuista koostuva maasulkuvalvonta toteutetaan kuvan 9 mukaisesti, jossa järjestelmän ollessa kunnossa kaikki lamput palavat normaalisti. Jos yhdessä vaiheessa ilmenee maavuoto, kyseisen vaiheen lamppu himmenee tai sammuu kokonaan. Tällöin muiden lamppujen jännite kasvaa hieman, jolloin ne palavat kirkkaammin kuin aiemmin. (T.Hall 2019, 36.)



KUVA 9. Merkkilampuista muodostettu maasulkuvalvonta (T.Hall 2019, 37).

## 6 LUOKITUSLAITOKSET

Laivojen luokitus syntyi 250 vuotta sitten Lontoossa, kun merivakuutusyhtiöt kehittivät järjestelmän, jonka avulla he pystyivät itsenäisesti arvioimaan aluksien kuntoa. Tämän perusteella he tekivät päätöksiä siitä, tarjoavatko he vakuutusturvaa aluksille. Silloin jokaisen aluksen kunto pyrittiin luokittelemaan vuosittain. Siitä lähtien luokitusluokat ovat kerryttäneet vuosien varrella kokemusta ja tietoa laivasuunnittelusta, -rakentamisesta ja -kunnossapidosta. Tämän tarkoituksena on varmistaa nykyään valtamerillä operoivien alusten turvallisuus. (International Association of Classification Societies n.d.)

Maailmanlaajuisesti luokituslaitoksia on yli 50, joista 11 on osana IASC:tä (International Association of Classification Societies), joka toimii luokituslaitosten kattojärjestönä. (International Association of Classification Societies 2022, 4.)

IACS:n jäsenet ovat:

- ABS American Bureau of Shipping
- KR Korean Register
- BV Bureau Veritas
- LR Lloyd´s Register
- CCS China Classification Society
- NK Nippon Kaiji Kyokai (ClassNK)
- CRS Croatian Register of Shipping
- PRS Polish Register of Shipping
- DNV Det Norske Veritas
- RINA Registro Italiano Navale
- IRS Indian Register of Shipping. (International Association of Classification Societies 2022, 16.)

Luokituslaitoksien ja lippuviranomaisten säännöt ovat yleensä yksityiskohtaisempia kuin SOLAS-säännöt (Häkkinen 2003, 3). SOLAS-yleissopimus (Safety of Life at Sea) on vuonna 1974 luotu kansainvälinen sopimus, jonka tarkoituksena on edistää ihmishengen turvallisuutta merellä (International Maritime Organization (IMO) 1974).

Alukselle, joka on suunniteltu ja rakennettu noudattaen IACS:n jäsenyhdistyksen sääntöjä, voidaan luokitella IACS:n luokkaan. Suunnitteluvaiheessa kuvat hyväksytetään luokalla, jotta ne ovat sopuinnussa luokkien sääntöjen kanssa ja mahdollistavat aluksen luokituksen. (International Association of Classification Societies 2022, 3.)

Luokituslaitoksien ja lippuviranomaisten sääntöjä noudattamalla pystytään takaamaan mahdollisimman turvallinen ja standardien mukainen alus, joita hallinnot vaativat aluksen alkukatsastuksessa. Aluksen uusintakatsastukset on suoritettava hallinnon asettamin väliajoin. Tässä yhteydessä hallinnon määräämän katsastajan tulee varmistua siitä, että alus täyttää säännösten vaatimukset ja kestää jatkossakin asianmukaisesti sen käyttötarkoituksen mukaisessa ympäristössä. Kaikkien laitteiden on oltava johtavan katsastajan hyväksymiä. Yleensä sovelletaan IMO:n, ISO:n tai IEC:n standardeja. Lainsäädännön vaatiessa tiettyjen laitteiden on oltava tyyppihyväksytyjä. (International Maritime Organization (IMO) 2008.)

Suurnopeusaluksen turvallisuustodistus myönnetään alukselle peruskatsastuksen tai uusintakatsastuksen jälkeen, joka täyttää säännösten vaatimuksen. Turvallisuustodistus on voimassa maksimissaan viisi vuotta. (International Maritime Organization (IMO) 2008.)

## **6.1 Yleisimmät vaatimukset sähköjäljälussa**

Kansainvälisillä vesillä liikennöiviin suurnopeusaluksiin kohdistuneen säännön mukaan sähköjäljälulta edellytetään vähintään kaksi päägeneraattoriyhdistelmää, jotka pystyvät yhdessä tuottamaan tehoa koko mitoituskuormalle. Päägeneraattorien on oltava aina käytettävissä merellä. Jos tarkoituksena on, että generaattoreista vain toinen on käytössä merellä, on generaattorit järjestettävä niin, että varageneraattori käynnistyy automaattisesti ja liittyy verkkoon, mikäli käytössä oleva generaattori vikaantuu tai ylikuormittuu. (International Maritime Organization (IMO) 2008.)

Perussuunnittelu vaiheessa aluksen verkosta luodaan yksiviivakaaviot, josta käy ilmi verkon rakenne ja sen toiminta. Alukselle määritetyn luokituslaitoksen Lloyd's

Register:n säännöt vaativat, että pää- ja hätätaulun yksiviivakaavioista selviää muun muassa:

- Koneiden, muuntajien, akkujen ja puolijohdemuuntajien nimellisarvot.
- Kaikki pää- ja hätäkeskuksiin liitetyt syöttöjohdot.
- Jakokeskukset, jotka syötetään päätaulusta.
- Kaapeleiden eristystyyppi, koko ja virrankuorma.
- Katkaisijoiden ja sulakkeiden merkki, tyyppi ja nimellisarvo. (Lloyd's Register 2023, 1040.)

Yksiviivakaavion (Single Line Diagram) lisäksi säännöissä edellytetään pää- ja hätätaulujen toiminnallista kuvausta. Näissä kuvauksissa tulee selkeästi esittää sähköjärjestelmien toimintaperiaatteet normaaleissa olosuhteissa sekä kohtuudella ennakoitavissa olevissa poikkeusolosuhteissa. Erityisesti on kiinnitettävä huomiota heikentyneisiin toimitiloihin, kuormanhallinta- ja kuormanjakofilosofiaan sekä suojausfilosofiaan. (Lloyd's Register 2023, 1040.)

## 6.2 Hätälähteen yleisvaatimukset

Suurnopeusaluksiin kohdistuneissa säännöissä vaaditaan aluksilta itsenäistä varavoimanlähdeä, jota kutsutaan hätälähteeksi. Sähköenergian hätälähde voi olla joko generaattori tai akkuparisto. (International Maritime Organization (IMO) 2008.) Yleensä aluksissa käytetään varavoimalähteenä hätägeneraattoria, mutta kyseisessä projektissa hätälähteenä toimii hätäakusto.

Hätägeneraattorilla ja -akustolla on vaatimuksia, joita niiden on edellytettävä. Generaattorille niitä ovat muun muassa riippumaton polttoaineensyöttö, jonka leimahduspiste ei saa olla alle 43 °C. Lisäksi hätägeneraattorin on käynnistytävä automaattisesti ja kytkeydyttävä hätäkeskukseen, kun sähkönsyöttö päävirtalähteestä katkeaa. (International Maritime Organization (IMO) 2008.)

Hätäakuston on kyettävä kantamaan hätätilanteessa aluksen tarvittava sähkökuorma ilman uudelleen latausta ja pitää akun jännitteen koko purkautumisjakson aikana enintään 12 % yli tai alle nimellisjännitteen. Hätäakuston on kyettävä generaattorin tavoin automaattisesti kytkeytymään



hätäkeskukseen päälähteen vikaantuessa ja varmistaa turvallisuuden kannalta olennaisten laitteiden sähkönsyöttö 5 tunnin ajan, joita ovat muun muassa:

- hätävalaistus
- navigointivalot ja -laitteet
- radiolaitteet
- paloilmoitus- ja yleishälytysjärjestelmä
- palonsammutusjärjestelmien kauko-ohjauslaitteet, jos ne ovat sähköisiä.

(International Maritime Organization (IMO) 2008.)

## 7 PERUSSUUNNITTELUN ALOITUS

Perussuunnittelu alkaa tarkastelemalla aluksesta luotua erittelyä yksityiskohtaisesti ja perusteellisesti. Sähkösuunnittelijoiden osalta aluksen perussuunnittelu alkaa sähköjakelun suunnittelusta, johon kuuluu muun muassa sähköbilanssi, yksiviivakaaviot, oikosulkuvirtalaskelmat sekä selitys sähköverkosta ja sen toiminnasta. Muita perussuunnitteluun kuuluvia osuuksia ovat sähkölaitteiden sijoitukset, kaapelirata ja läpivienti kuvat sekä automaation IO-lista. Projektissa on tarkoitus suunnitella SWATH-aluksen sähköjakelujärjestelmä mahdollisimman yksinkertaiseksi sekä luotettavaksi. Perussuunnittelu aloitettiin tutkimalla eri sähköjakelujärjestelmiä sekä niiden hyviä ja huonoja puolia aluksissa.

### 7.1 Aluksen erittely

Konseptisuunnitteluvaiheessa tilaaja laatii erittelyn, jossa kuvailee sanallisesti aluksen järjestelmiä ja pääominaisuuksia. Tässä vaiheessa esitetty kuvaus toimii pohjana perussuunnittelun aloittamiseen. Erittely sisältää kaiken tarpeellisen tiedon, joka perustuu tilaajan vaatimukseen. Tämä erittely toimii myös telakan ja tilaajan välisenä sopimusaineistona siitä, mitä lopputuloksen odotetaan sisältävän. (Lehto 2014, 28.)

Erityyissä tilaaja laatii myös tarkat määritelmät sähköjärjestelmälle. Tilaaja vaatii sähköjakelujärjestelmältä muun muassa 3-vaihejärjestelmää 4-johtimena eli maadoitetulla verkolla, sekä generaattoreita toimimaan rinnakkain tarpeen tullen. Valaistusjärjestelmän erityyissä määritellään 24 V:n syöttö sekä normaalille valaistukselle, että hätävalaistukselle. Erityyissä vaaditaan, että hätävalaistuksella on jokaisessa tilassa kaksi erillistä syöttöpiiriä, joista yksi paapuurin puolelta ja toinen tyrpuurin puolelta. Tämä järjestely varmistaa, että jos toinen syöttöpiireistä vaurioituu, niin vähintään puolet aluksen hätävalaistuksesta pysyy edelleen toiminnassa.

## 7.2 Suunnittelun aloituspalaveri

Projektin alkuvaiheessa järjestettiin suunnitteluun liittyvä aloituspalaveri, johon osallistuivat telakka, tilaaja ja sähkötoimittaja. Palaverissa käytiin läpi erittelyä ja mahdollisia muutostoiveita, joilla pyrittiin löytämään parempia ja kustannustehokkaampia ratkaisuja. Muun muassa ehdotettiin sähkönjakelujärjestelmän muuttamista maadoitetusta järjestelmästä eristetyksi IT-verkoksi, mikä parantaisi sähkön toimitusvarmuutta ja vähentäisi harmonisia häiriöitä kuten opinnäytetyössä on tullut aiemmin selväksi. Lisäksi esitettiin normaalin valaistuksen vaihtamista 230 V:n puolelle, joka vähentäisi aluksen kulutusakuston kapasiteettitarvetta ja tekisi merihyväksytyjen valaisimien hankinnasta edullisempää.

## 8 SÄHKÖBILANSSI

Projektin perussuunnittelu osuuden alussa tehdään alustava sähköbilanssi aluksen kulutuksesta eri tilanteissa, jotta voidaan määrittää dieselgeneraattoreiden tarvittava määrä sekä nimellisarvot. Tässä projektissa haasteena on aluksen ahtaat konetilat, jolloin yli 27 kW:n generaattori ei olisi mahtunut konehuoneeseen. Alustavassa sähköbilanssissa täytyy tehdä oletuksia, jotta generaattorit saataisiin tilattua pitkien toimitusaikojen takia. Alustavaa sähköbilanssia on ylläpidettävä ja päivitettävä projektin edetessä. (Borstlap & Katen 2011, 33.)

Sähköbilanssiin listataan aluksen kaikki sähkölaitteet nimellistehoineen, huomioiden niiden erilaiset käyttötilanteet eri olosuhteissa. Tuloksena saadaan luettelo, joka sisältää kaikki aluksen pumput ja erilaiset laitteet sekä niiden yksittäiset tehonkulutukset. Tarvittava sähköteho saadaan soveltamalla käyttö- ja rinnakkaisuuskertoimia, sillä kaikki aluksen sähkökuormat eivät ole yhtäaikaisesti käytössä. Käyttö- ja rinnakkaisuuskertoimien soveltaminen edellyttää joko pitkäaikaista kokemusta tai yleisten käytäntöjen noudattamista. (Borstlap & Katen 2011, 33; Patel 2011, 37.) Kyseisessä projektissa on käytetty molempia menetelmiä käyttökertoimien soveltamiseen kollegan pitkäaikaisen kokemuksen avustuksella.

Valaistuskuormat arvioidaan alustavien valaistuskuvien ja valaistustoimittajilta saatujen teknisten tietojen perusteella. Malleina usein käytetään referenssialuksia tai vastaavia aluksia. (Borstlap & Katen 2011, 33.)

Projektissa käytetään aluksilla kulutusakustoja, jonka vuoksi on tarpeen laskea erikseen sähköbilanssi myös 24 V:n kuormille. Tämän tasasähkölaitteiden sähköbilanssin avulla määritellään kulutusakustojen ja latureiden tarvittavat kapasiteetit. Tämän vuoksi aluksen alustava sähköbilanssi on jaettu erikseen 400/230 V:n ja 24 V:n kuluttajille. Tämä johtuu siitä, että toinen puoli saa sähkönsä generaattoreilta ja toinen puoli aluksen kulutusakustosta.

Projektissa hätävirtalähteenä toimii hätäakusto, jonka mitoitus tehdään sähköbilanssin perusteella noudattaen sääntöjä. Hätäkuluttajien sähkötehon tarve lasketaan aina varmuuden vuoksi pahimman mahdollisen tilanteen perusteella, jossa kaikki tarvittavat hätäkulutuslaitteet ovat samanaikaisesti käytössä. Siksi on tärkeää laatia sähköbilanssi huolellisesti, jotta hätäakusto toimii odotetusti. (Borstlap & Katen 2011, 34.)

Sähköbilanssiin luodaan erilaisia käyttötilanteita, joissa laitteiden tarvitsema sähköteho vaihtelee. Esimerkiksi ilmastointijärjestelmän käyttö talvella eroaa kesän käytöstä. Näitä erilaisia tilanteita voi olla esimerkiksi aluksen manöveroinnin yhteydessä, kun kapteeni suorittaa tarkkoja ohjausliikkeitä satamaan saapuessa tai sieltä lähtiessä (Saukko 2020, 51).

Projektin käyttötilanteisiin kuuluivat seuraavat:

- Merellä täydellä nopeudella toimiminen kesällä.
- Merellä hitaalla nopeudella toimiminen kesällä.
- Merellä täydellä nopeudella toimiminen talvella.
- Merellä hitaalla nopeudella toimiminen talvella.
- Satamassa, jossa sähkönsyöttö maalta kesällä.
- Satamassa, jossa sähkönsyöttö maalta talvella.

Sähköbilanssin kansilehdellä kuluttajat on jaettu eri ryhmiin niiden käyttötarkoituksen mukaan. Kansilehdellä näkyy myös jokaisen ryhmän kokonaistehonkulutus eri käyttötilanteissa. Mallia ryhmien jakamiseen on otettu vanhoista projekteista ja kyseisessä projektissa ne on jaettu seuraavanlaisiin ryhmiin:

- ryhmä 1: Käyttövoiman (propulsion) jatkuvat apukuluttajat
- ryhmä 2: Käyttövoiman ajoittain käytössä olevat apukuluttajat
- ryhmä 3: Aluksen koneiston apulaitteet
- ryhmä 4: Lämmitys, ilmanvaihto ja ilmastointi
- ryhmä 5: Jäähdytyslaitteet
- ryhmä 6: Kansikoneet
- ryhmä 7: Lastinkäsittelykoneet
- ryhmä 8: Keittiö-, ruokakomero ja työpajalaitteet
- ryhmä 9: Valaistus ja radiolaitteet
- ryhmä 10: Navigointilaitteet

- ryhmä 11: Erikoislaitteet.

Projektiin luotu alustava sähköbilanssi liitteenä 1. Sähköbilanssia ylläpidetään ja päivitetään varmistaen, että kaikki muutokset ja uusien laitteiden tehonkulutus on otettu huomioon.

## 9 SÄHKÖNJAKELUN SUUNNITTELU

Sähkönjakelu suunnittelu aloitettiin tutkimalla aluksen luokituslaitoksen ja lippuviranomaisten sääntöjä ja vaatimuksia sähkönjakelulle. Näiden perusteella lähdettiin luomaan mahdollisimman kustannustehokkaasti redundanttista sähköverkkoa alukseen. Sähköjärjestelmäksi valikoitui eristetty IT-verkko, jonka avulla pystytään varmistamaan jatkuva sähkönsyöttö maavuodon sattuessa sekä välttään ylimääräisiltä harmonisilta yliaalloilta. Aluksen sähköntuotannosta vastaavat kaksi generaattoria, joka oli sääntöjen minimivaatimus. Näiden generaattoreiden on tarvittaessa tarkoitus toimia rinnakkain, minkä vuoksi niiden täytyy toimia samalla taajuudella ja jännitteellä. (Patel 2011, 95.) Tämän varmistaa generaattoreiden omat synkronointilaitteet, jotka kommunikoivat keskenään Modbus-väylän avulla.

Aluksen 24 V:n verkko päätettiin toteuttaa referenssialuksen mukaisesti kulutusakustolla, joita voidaan ladata konevetoisilla latureilla. Näin ollen saatiin erotettua tasasähköverkko vaihtosähköjärjestelmästä, jolloin verkon redundanttisuus kasvaa.

Aluksen hätälähteenä toimii hätälähteen yleisvaatimukset luvussa mainittu hätäakusto. Hätäenergialähteen ja hätäpääkeskuksen sijoitus aluksessa täytyy olla vähintään vedenpinnan yläpuolella (Lloyd's Register 2023, 1055). Sääntöjä noudattamalla kyseisessä aluksessa akusto tulee sijaitsemaan ohjaamon takana ja hätäpääkeskus täten ohjaamossa.

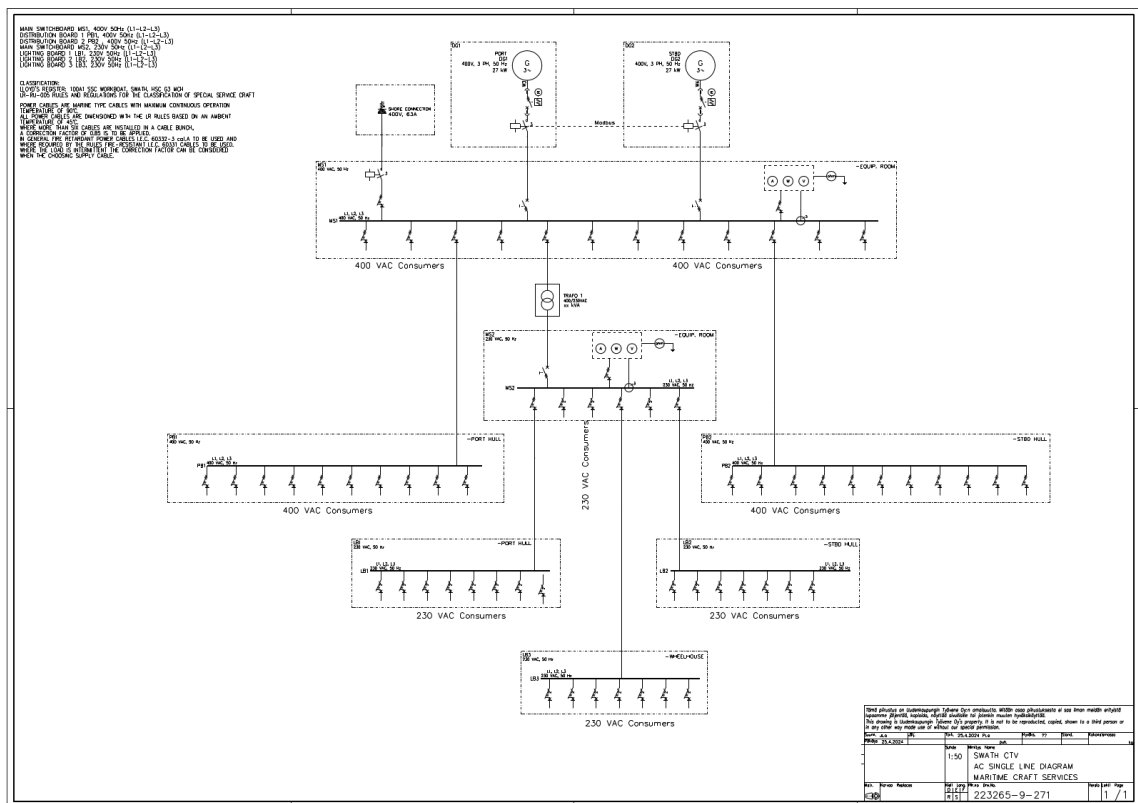
Sähkönjakelun suunnittelussa on otettu huomioon sähkönsyötön varmennettavuus, joka osoittautuu yksiviivakaavioissa selkeämmin. Myös riittävä suojaus oikosulkua vastaan on otettu huomioon oikosulkuvirtoja laskettaessa sekä selektiivisyys, jotta vikatilanteen rajaus toimii tarvittaessa.

### 9.1 Yksiviivakaaviot

Perussuunnittelun osuuteen kuuluvat yksiviivakaavioiden luominen havainnollistamaan aluksen sähköverkkoa. Yksiviivakaaviot luotiin käyttäen

CadMatic-suunnitteluohjelmaa ja ne sisältävät 400/230 V:n vaihtosähköverkon sekä 24 V:n tasasähköverkon sisältäen hätäverkon. Kuvassa 10 on esitetty 400/230 V yksiviivakaavio.

Yksinkertainen yksiviivakaavio havainnollistaa sähköjärjestelmästä enemmän kuin sivujen pituiset eritelmät. Siitä käy ilmi generaattorien määrä ja niiden nimellisarvot, sekä pääkytkintaulun sähköjärjestelyt. Tämä sisältää pääkiskot, mahdollisen erottelun ja keskeisten kuluttajien jaon kahteen eri kiskoon. Kaaviossa käy ilmi myös eri puolilla alusta sijaitsevien jakelukeskuksien sähkön syöttö sekä niihin kytketyt sähkökuluttajat. (Borstlap & Katen 2011, 27.)



KUVA 10. Yksiviivakaavio aluksen 400/230 V:n sähköjärjestelmästä.

### 9.1.1 Sähköverkon kuvaus

Yksiviivakaaviosta huomataan verkon säteittäinen rakenne, joka koostuu kahdesta generaattorista, jotka ovat yhteydessä toisiinsa Modbus-yhteydellä. Generaattorit tuottavat tarvittaessa yhdessä sähköä pääkeskukselle MS1:lle, joka sijaitsee aluksen keskikannella, täten eri tilassa koneiden kanssa. Tästä jaetaan aluksen molemmille puolille konehuoneisiin 400 V:n jakokeskuksille,



joista syötetään aluksen 400 V:n kuluttajia. Kuvasta 10 huomataan pääkeskuksen keskeltä lähtevän syöttö muuntajalle, joka muuntaa jännitteen 230 V:n kuluttajille. 230 V:n pääkeskus MS2 sijaitsee samassa tilassa MS1:n kanssa. Tästä MS2 keskuksista sähköä jaetaan myös molemmin puolin alusta konetiloihin, sekä aluksen ohjaamoon jakokeskuksille.

Järjestelmä on varustettu kulutusakustoilla, jotka sijaitsevat aluksen konetiloissa. Näitä kulutusakkuja ladataan ylläpitolatureilla sekä konevetoisilla latureilla. Kulutusakustot syöttävät aluksen tasasähkökeskuksia, jotka sijaitsevat aluksen konetiloissa molemmilla puolilla sekä ohjaamossa. Näistä keskuksista syötetään aluksen 24 V:n kuluttajia. Konetiloissa sijaitsevien tasasähkökeskuksien välille asetetaan hätäkytkin siltä varalta, jos toinen akustoista vaurioituu. Näin voidaan varmistaa, että vaurioituneen puolen laitteet saavat tarvittavan sähkönsyötön.

Aluksessa on myös hätäpääkeskus, joka sijaitsee ohjaamossa ja saa syöttönsä hätäakustolta. Hätäakuston kapasiteetti on laskettu viideksi tunniksi noudattaen suurnopeusaluksen sääntöä. Hätäpääkeskus syöttää kahta alakeskusta, jotka sijaitsevat aluksen konetiloissa molemmilla puolilla alusta. Näistä hätäkeskuksista syötetään aluksen hätäkuluttajia, joita on käyty läpi opinnäytetyön luvussa 6.2. Normaalissa tilanteessa hätäpääkeskus saa virtansa ohjaamon 230 V:n valaistuskeskukselta laturin välityksellä. Jos jännite katoaa tästä syötöstä alkaa hätäakusto automaattisesti syöttämään hätäpääkeskusta ja täten aluksen hätäkuluttajia. Jännitteen palattua ohjaamon valaistuskeskukseen alkaa se jälleen syöttämään hätätauluja.

Tasasähköverkon toimintavarmuutta on parannettu yhdistämällä hätäpääkeskus ohjaamossa sijaitsevaan DC3-tauluun hätäkytkimen avulla. Tämä järjestely varmistaa sähkönsyötön useimmille laitteille vikatilanteissa, joissa hätäpääkeskuksen laturi ja akusto on vaurioituneet tai jos kulutusakustot ovat epäkunnossa.

Alukselta vaaditaan hätäakuston lisäksi radioakustoa, joka tarpeen vaatiessa syöttää pelkästään radiolaitteita vähintään tunnin ajan (Lloyd's Register 2023, 1064). Radioakusto sijaitsee hätäakuston tavoin ohjaamon takana ja radiolaitteille tarkoitettu keskus ohjaamossa. Radioakuston kapasiteetti

lasketaan säännön mukaisesti yhdeksi tunniksi. Kuitenkin yksiviivakaaviosta selviää, että radiolaitteiden keskusta syötetään myös viiden tunnin hätäakustosta. Tällä tavoin varmistetaan, että radiolaitteet ovat viimeiset toiminnassa olevat sähkölaitteet aluksella pahimmassa mahdollisessa tilanteessa. Kulutus-, hätä- ja radioakustojen tasasähköjärjestelmän yksiviivakaaviot ovat näkyvillä liitteessä 2.

## 10 OIKOSULKUVIRTA LASKELMAT

Oikosulkuvirtoja laskettaessa on hyvä ymmärtää yksittäisen laitteen tuottaman oikosulkuvirran ja usean järjestelmään kytketyn laitteen oikosulkuvirran ero. Yksittäistä laitetta tarkastellessa ainoastaan laitteen sähköiset parametrit vaikuttavat syntyvään oikosulkuvirtaan. Kun taas järjestelmässä tämä virta on kuitenkin rajoitettu epäaktiivisten komponenttien impedanssilla, kuten esimerkiksi kaapeleilla ja muuntajilla. Ne muodostavat järjestelmän, muuttaen sekä tilapäisen että tasapainotilan arvoja lyhytkestoisen oikosulkuvirran seurauksena. (International Standards (IEC) 2006, 13.)

Järjestelmän oikosulkuvirtojen laskemisessa on otettava huomioon kaikkien moottoreiden ja generaattoreiden aiheuttamat oikosulkuvirrat mukaan lukien päätaulut ja niiltä lähtevät jakokeskukset. Oikosulkuvirtaa laskettaessa asennuksen kohdasta, joka on kytketty epäaktiivisen komponentin avulla eli kaapelin tai muuntajan avulla on otettava sen impedanssi huomioon. Epäaktiivisen komponentin impedanssi vähentää oikosulkuvirran suuruutta. (International Standards (IEC) 2006, 33.)

Työssä käytettiin ABB:n DOCweb-oikosulkuvirtalaskentatyökalua työn helpottamiseksi ja kustannustehokkaiden komponenttien valitsemiseksi, sillä laskentatyökalu suosittelee automaattisesti sopivinta ja edullisinta ABB:n suojalaitetta. DOCweb:llä luotiin oikosulkuvirtalaskelma projekti, jonka alussa määritettiin laskenta standardiksi IEC 60909-1 ja kaapeleiden mitoitukseen IEC 60092-352, joka on tarkoitettu laivojen sähköasennuksiin. Standardien määrittämisen jälkeen määritettiin generaattoreiden käyttöjännite, näennäisteho ja tehokerroin. Verkon tyyppiä asetettiin kolmivaiheinen IT-verkko 50 Hz taajuudella, kuten kuvasta 11 huomataan.

ABB DOC WEB

Configuration | Advanced options | Browse archive | User archive

Model:

Remarks:

Type: Turbogenerator

Un [V]: 400

Apparent power Sn [kVA]: 32

Power factor Cosφ: 0,85

Stator resistance at 20C: 0,651088

DC Time constant Ta [ms]: 55

Circuit: LLL | IT | Fn [Hz]: 50

Calculate apparent power using: **Rated Power** | Rated Current

|                |       |
|----------------|-------|
| Active power   | 27,2  |
| Reactive power | 16,86 |
| Rated current  | 46,19 |

Add to archive

KUVA 11. Generaattorin konfigurointi.

Generaattorien konfiguroinnin jälkeen verkosta luotiin yksiviivaakaavion mukainen kaavio lisäämällä keskuksiin alustavan sähköbilanssin mukaiset kuluttajat. Generaattoreille asetettiin lukitut katkaisijat, jotka edustavat generaattoreiden omia katkaisijoita. Näin ollen generaattoreilta pääkeskukselle tulevien kaapeleiden katkaisijat suojaavat vain kaapeleita. Oikosulkuvirtalaskelmaan sisällytettiin myös kaapeleiden pituudet eri kuluttajille, jotka määritettiin aluksen pohjapiirustuksen perusteella. Näin saatiin laskettua mahdollisimman tarkat arvot oikosulkuvirroille. ABB:n DOCweb laskee oikosulkuvirrat ja ehdottaa automaattisesti tarvittavien kaapeleiden koot, joka helpottaa tarvittavien kaapeleiden tilaamista alukseen. Oikosulkuvirtalaskentatyökälulla luotu oikosulkuvirtalaskelma ja selektiivisyysanalyysi ovat näkyvillä liitteessä 3.

## 10.1 Verkon selektiivisyys

Suojausjärjestelmän valinta on erittäin tärkeää sekä verkon taloudellisen toiminnan varmistamiseksi, että ongelmien minimoimiseksi epänormaalien käyttöolosuhteiden tai vikojen sattuessa. Selektiivisyydellä tarkoitetaan kahden tai useamman ylikuormitusuojalaitteen toimintakäyrien yhteensovittamista siten, että kuorman puoleinen suojalaite katkaisee piirin vikatilanteessa ilman, että ylempänä oleva suojalaite laukeaa. Täysin selektiivisessä piirissä vika voidaan

rajata pieneen alueeseen verkossa. Osittain selektiivisessä piirissä kuorman puoleinen suojalaite katkaisee virran vain tiettyyn virran arvoon asti ilman, että ylempi suojalaite laukeaa. Tällöin vika voi aiheuttaa useammankin laitteen syötön katkeamiseen. (ABB 2008, 2–3.)

Selektiivisyys voidaan jakaa kahteen eri käsitteeseen, ylikuormitusalueeseen ja oikosulkualueeseen. Ylikuormitusalueella viitataan virta-arvojen vaihteluväliin, joka on katkaisijan nimellisvirran ja sen 8–10 kertaisen arvon välillä. Näiden virta-arvojen alueella piirit ovat yleensä ylikuormitettuja. Tällaiset tilanteet ovat kuitenkin yleisempiä kuin varsinaiset vikatilanteet. Oikosulkualueella puolestaan tarkoitetaan virta-arvoja, jotka ylittävät katkaisijan nimellisarvot 8–10 kertaisesti. Tällaiset suuret virta-arvot viittaavat yleensä syöttöpiirin vikatilanteeseen. (ABB 2008, 4.)

Työssä selektiivisyysanalyysi toteutui oikosulkuvirtalaskelmien ohella, jossa ABB:n laskentatyökalu ilmoittaa jokaisen katkaisijan ja sulakkeen selektiivisyyden suhteessa ylempiin suojalaitteisiin. Liitteenä 3 olevassa selektiivianalyysissä haasteita aiheutti muun muassa ohjaamon pistorasiat, jotka ovat osittain selektiivisiä analyysin mukaan. Näin ollen vikatilanteessa ohjaamon LB3 keskuksessa osittain selektiivinen piiri saattaa aiheuttaa useamman laitteen sähkönsyötön katkon. Täydellistä selektiivisyyttä tällaisessa pienessä aluksessa on hankala hakea lyhyiden etäisyyksien takia ilman suojalaitteiden yli mitoittamista.

## 11 POHDINTA

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella SWATH-aluksen sähköjakelujärjestelmä perussuunnittelun osalta. SWATH-alus vaatii erityistä huomiota sähköjakelun suunnittelussa sen erityisen rakenteen ja käyttöympäristön vuoksi. Työssä keskityttiin luomaan luotettava ja tehokas sähköjakelujärjestelmä, joka täyttää luokituslaitoksen ja lippuviranomaisten vaatimukset.

Opinnäytetyön aikana selvisi, että eri maadoitusmenetelmien avulla pystytään parantamaan verkon toimintavarmuutta ja vähentämään harmonisia yliaaltoja. Työssä päädyttiin käyttämään eristettyä IT-verkkoa sen kyvyn vuoksi ylläpitää sähkönsyöttöä maavuodon yhteydessä sekä kustannustehokkuuden vuoksi. Eristetty verkko vähentää harmonisia yliaaltoja, jotka voivat vahingoittaa aluksen tärkeitä laitteita. Verkon liialliset yliaallot saattaisivat vaatia ylimääräisiä suodattimia, jotka nostaisivat projektin kustannuksia. Nollajohtimella varustettuihin sähköjärjestelmiin edellytettäisiin vikavirtoja suojalaitteisiin ihmishengen suojaamiseksi (Borstlap & Katen 2011, 22). Vikavirtasuojat nostaisivat myös projektin kustannuksia ja vaatisivat lisää tilaa sähkökaapeista. Työssä havaittiin myös, että rinnankäyttöiset generaattorit, joiden tähtipisteet on kiinteästi maadoitettu lisäävät harmonisille yliaalloille ylimääräisen reitin. Tämä voisi aiheuttaa ongelmia vikavirtojen toimintaan, mikä puolestaan heikentäisi sähkönsyötön luotettavuutta ja toimintavarmuutta.

Työssä suunniteltiin SWATH-aluksen sähköjakelu perussuunnitteluvaiheessa, huomioiden aluksen luokituslaitoksen ja lippuviranomaisten vaatimuksia. Suunnitteluun kuului muun muassa sähköbilanssin laatiminen arvioimaan verkon kulutusta verkon eri käyttötilanteissa. Yksiviivakaaviot verkoista luotiin käyttäen CadMatic-suunnitteluohjelmaa havainnollistamaan verkon rakennetta. Lisäksi työssä käytettiin ABB:n oikosulkuvirtalaskentatyökalua työn helpottamiseksi. Oikosulkuvirtalaskennan avulla määritettiin aluksen tarvittavat suojalaitteet verkon turvalliseen toimintaan. Seuraavaksi työssä laaditut dokumentit lähetetään luokituslaitokselle ja tilaajalle hyväksyttäväksi. Hyväksynnän jälkeen

tehdään tarvittavat muutokset ja aloitetaan sähköjakelujärjestelmään toteutus keskusten osalta.

Verkon toimintavarmuuden ja selektiivisyyden kannalta kehittämiskohteita voisivat olla muun muassa pääkiskon mahdollinen erittely kiskokatkaisimella, jolloin vikaantuneen osan voisi erottaa helposti. Selektiivisyyden varmistamiseksi voitaisiin käyttää ylivirta- ja oikosulkureleitä, jotka aktivoivat aikalaskurin ylikuormitus- tai oikosulkutilanteissa. Tämä mekanismi varmistaa, että alempien osien suojalaitteet laukeavat ennen ylempien osien suojausta. (ABB 2003, 57.) Näin pystyttäisiin varmemmin rajaamaan mahdollisia vika-alueita verkon osittain selektiivisillä alueilla.

Suurimpia haasteita työssä aiheutti aluksen monimutkainen rakenne, jossa konetilat on jaettu erilleen toisistaan. Tämä teki mahdollisimman redundanttisen verkon suunnittelusta kustannustehokkaasti haastavaa. Verkkoa suunnitellessa oli välttämätöntä huomioida etukäteen generaattoreiden kaapelireitit niin, että ne eivät risteäisi keskenään. Lisäksi aluksen ahtaat konetilat ja painorajoitukset vaikeuttivat generaattoreiden kokomääritystä, kaapelireittien ja keskusten suunnittelua sekä sijoittamista.

Yhteenvetona työstä voidaan todeta, että merenkulun sähköjärjestelmän eri maadoitusmenetelmät voivat merkittävästi vaikuttaa alusten sähköjakelun toimintavarmuuteen ja kustannuksiin. Jatkossa on kuitenkin tärkeää tutkia edelleen, miten näitä ratkaisuja voidaan käytännössä soveltaa eri alustyypeissä ottaen huomioon niihin liittyvät säännöt ja vaatimukset.

## LÄHTEET

- ABB. *ABB:n TTT-käsikirja 2000-07, luku 18*. ABB, 2000.
- ABB. Low voltage selectivity with ABB circuit-breakers. 2008.
- ABB. *Maritime Electrical Installations And Diesel Electric Propulsion*. Oslo: ABB, 2003.
- Borstlap, Rene & Hans ten Katen. *Ships Electrical System*. 2011.
- Harju Elekter. 15. 1 2024. <https://harjuelekter.fi/referenssit/telesilta-oy-solmi-kaupat-kolmen-aluksen-sahkourakoinnista-uudenkaupungin-tyoveneen-telakan-kanssa/>.
- Häkkinen, Pentti. *Laivan sähköverkko*. Helsinki: Picaset Oy, 2003.
- International Association of Classification Societies. *Classification Societies - What Why How*. International Association of Classification Societies, 2022.
- International Association of Classification Societies. *Classification Societies in a Nutshell*. International Association of Classification Societies, n.d.
- International Maritime Organization (IMO). *2000 HSC CODE*. International Maritime Organization (IMO), 2008.
- International Maritime Organization (IMO). *International Convention for the Safety of Life at Sea*. International Maritime Organization (IMO), 1974.
- International Standards (IEC). *Electrical installations of ships and mobile and fixed offshore units*. 2006.
- International Standards (IEC). *Short-circuit current in three-phase a. c. systems*. International Electrotechnical Commission, 2001.
- Kari Huotari, Jarmo Partanen. *Teollisuusverkkojen oikosulkuvirtojen laskeminen*. Opetusmoniste, Lappeenranta: Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu, 1998.
- Koskinen, Jari. Ohjeistus laivasähkön suunnitteluun. 2020.
- Lehto, Pasi. Laiva-automaation suunnittelun ohjeistus. 2014.
- Lloyd's Register. *Rules and Regulations for the Classification of Special Service Craft*. Lloyd's Register, 2023.
- Metz-Noblat, Benoît de, Frédéric Dumas & Christophe Poulain. *Calculation of short-circuit currents*. Schneider Electric, 2005.
- Patel, Mukund R. *Shipboard Electrical Power Systems*. 2011.



R. Ball, G. W. Stephens. *Neutral Earthing of Marine Electrical*. The Institute of Marine Engineers, 1982.

Saukko, Olli-Pekka Johannes. *Laivan Sähkönjakelu Ja Datat käsittely*. 2020.

T.Hall, Dennis. *Practical Marine Electrical Knowledge Fourth Edition*. 2019.

Telesilta Oy. *Harju Elekter Telesilta Oy*. 2024.

<https://harjuelekter.fi/yritys/telesilta-oy/>.

Wikipedia. *Small-waterplane-area twin hull*. 27. Helmikuu 2024.

[https://en.wikipedia.org/wiki/Small-waterplane-area\\_twin\\_hull](https://en.wikipedia.org/wiki/Small-waterplane-area_twin_hull).

Wärtsilä. *Small waterplane area twin hull (SWATH)*. 27. 2 2024.

[https://www.wartsila.com/encyclopedia/term/small-waterplane-area-twin-hull-\(swath\)](https://www.wartsila.com/encyclopedia/term/small-waterplane-area-twin-hull-(swath)).

## LIITTEET

## Liite 1. Sähköbilanssi

1(7)

TELESILTA OY  
JLa 24.4.2024

## ELECTRIC LOAD BALANCE

Project: MSC SWATH CTV

Type:

SWATH

Rev\_

Owner:

Generators:

|                          |       |       |        |      |
|--------------------------|-------|-------|--------|------|
| Dieselgenerator 1 (400V) | 1 pcs | 27 kW | 34 kVA | (xx) |
| Dieselgenerator 2 (400V) | 1 pcs | 27 kW | 34 kVA | (xx) |
| Emer.generator (400V)    | pcs   | 0 kW  | 0 kVA  | (xx) |
| Shore connection: (32A)  |       | 15 kW | 19 kVA |      |

| Consumers  | All consumers,<br>Total Power | At sea,<br>Summer<br>Full operation | At sea,<br>Summer<br>Cruising | At sea,<br>Winter<br>Full operation | At sea,<br>Winter<br>Cruising | Harbour<br>shore connection,<br>Summer | Harbour<br>shore connection,<br>Winter | Emergency |
|--|-------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|--|--|-----------|
| Group 1: Auxiliary equipment of propulsion ( continuously running) | 4                             | 2                                   | 2                             | 2                                   | 2                             | 0                                      | 0                                      | 0         |
| Group 2: Auxiliary equipment of propulsion ( running at intervals) | 2                             | 0                                   | 0                             | 0                                   | 0                             | 1                                      | 1                                      | 0         |
| Group 3: Auxiliary equipment of ship machinery                     | 44                            | 3                                   | 0                             | 5                                   | 2                             | 1                                      | 1                                      | 1         |
| Group 4: Heating, ventilation and air conditioning                 | 32                            | 14                                  | 13                            | 14                                  | 14                            | 1                                      | 6                                      | 0         |
| Group 5: Cooling equipment   | 5                             | 3                                   | 3                             | 3                                   | 3                             | 0                                      | 0                                      | 0         |
| Group 6: Deck machinery  | 0                             | 0                                   | 0                             | 0                                   | 0                             | 0                                      | 0                                      | 0         |
| Group 7: Cargo handling equipment                                  | 0                             | 0                                   | 0                             | 0                                   | 0                             | 0                                      | 0                                      | 0         |
| Group 8: Galley, pantry and workshop equipment                     | 24                            | 3                                   | 0                             | 3                                   | 3                             | 1                                      | 1                                      | 0         |
| Group 9: Lighting/electric heating/radio equipment                 | 4                             | 4                                   | 2                             | 4                                   | 4                             | 4                                      | 4                                      | 2         |
| Group 10: Navigation equipment                                     | 5                             | 5                                   | 2                             | 5                                   | 5                             | 5                                      | 6                                      | 5         |
| Group 11: Special equipment  | 20                            | 5                                   | 0                             | 5                                   | 3                             | 0                                      | 0                                      | 0         |
| Group 12:  |                               |                                     |                               |                                     |                               |  |  |           |
| <b>Total (kW):</b>   | 141                           | 39                                  | 23                            | 42                                  | 36                            | 13                                     | 18                                     | 8         |
| cos. phi:  | 0,80                          | 0,80                                | 0,80                          | 0,80                                | 0,80                          | 0,80                                   | 0,80                                   | 0,80      |
| <b>Total (kVA):</b>  | 176                           | 49                                  | 28                            | 52                                  | 45                            | 16                                     | 23                                     | 10        |

| Generators               | pcs | Power<br>kVA | Number of generat | Number of generators connected to network |      |      |          |          |          |
|--------------------------|-----|--------------|-------------------|---|------|------|----------|----------|----------|
| Dieselgenerator 1 (400V) | 1   | 34           |                   |   |      |      |          |          |          |
| Dieselgenerator 2 (400V) | 1   | 34           | 2                 | 2   | 2    | 2    | 0        | 0        |          |
| Shore connection 32 A    | 1   | 19           |                   |   |      |      | 1        | 1        |          |
| Emer.generator (400V)    |     | 0            |                   |   |      |      |          |          | 1        |
| Loading %                |     |              | 73 %              | 42 %                                      | 77 % | 67 % | #JAKO/01 | #JAKO/01 | #JAKO/01 |

(jatkuu)

**ELECTRIC LOAD BALANCE**

Group 1: Auxiliary equipment of propulsion (continuously running)

| Consumer                           | pcs          | Power kW | Total installed Power kW | Load fact. | At sea, Summer     |          | At sea, Summer |          | At sea, Winter     |          | At sea, Winter |          | Harbour shore connection, Summer |          | Harbour shore connection, Winter |          | Emergency   |          |             |
|------------------------------------|--------------|----------|--------------------------|------------|--------------------|----------|----------------|----------|--------------------|----------|----------------|----------|----------------------------------|----------|----------------------------------|----------|-------------|----------|-------------|
|                                    |              |          |                          |            | Full operation pcs | (kW)     | Cruising pcs   | (kW)     | Full operation pcs | (kW)     | Cruising pcs   | (kW)     | pcs                              | (kW)     | pcs                              | (kW)     | pcs         | (kW)     | pcs         |
| Steering gear                      | 2            | 2,2      | 4,4                      | 0,8        | 1                  | 1,8      | 1              | 1,8      | 1                  | 1,8      | 1              | 1,8      |                                  |          |                                  |          |             |          |             |
| Steering gear Control              | 2            |          |                          | 0,8        |                    |          |                |          |                    |          |                |          |                                  |          |                                  |          |             |          | 0,0         |
| Propulsion control system          | 1            |          |                          | 1          | 1                  |          | 1              |          | 1                  |          | 1              |          |                                  |          |                                  |          |             |          | 0,0         |
| <b>Total number and power (kW)</b> | <b>5 pcs</b> |          | <b>4,40</b>              | <b>1</b>   | <b>1,76</b>        | <b>1</b> | <b>1,76</b>    | <b>1</b> | <b>1,76</b>        | <b>1</b> | <b>1,76</b>    | <b>0</b> | <b>0,00</b>                      | <b>0</b> | <b>0,00</b>                      | <b>0</b> | <b>0,00</b> | <b>0</b> | <b>0,00</b> |
| Sim. factor                        |              |          | 1,00                     |            | 1,00               |          | 1,00           |          | 1,00               |          | 1,00           |          | 1,00                             |          | 1,00                             |          | 1,00        |          | 1,00        |
| <b>Total (kW)</b>                  |              |          | <b>4</b>                 |            | <b>1,8</b>         |          | <b>1,8</b>     |          | <b>1,8</b>         |          | <b>1,8</b>     |          | <b>0,0</b>                       |          | <b>0,0</b>                       |          | <b>0,0</b>  |          | <b>0,0</b>  |

Group 2: Auxiliary equipment of propulsion (running at intervals)

| Consumer                           | pcs          | Power kW | Total installed Power kW | Load fact. | At sea, Summer     |          | At sea, Summer |          | At sea, Winter     |          | At sea, Winter |          | Harbour shore connection, Summer |          | Harbour shore connection, Winter |          | Emergency   |      |             |
|------------------------------------|--------------|----------|--------------------------|------------|--------------------|----------|----------------|----------|--------------------|----------|----------------|----------|----------------------------------|----------|----------------------------------|----------|-------------|------|-------------|
|                                    |              |          |                          |            | Full operation pcs | (kW)     | Cruising pcs   | (kW)     | Full operation pcs | (kW)     | Cruising pcs   | (kW)     | pcs                              | (kW)     | pcs                              | (kW)     | pcs         | (kW) | pcs         |
| ME standby heating                 | 2            | 0,5      | 1,0                      | 1          | 0                  | 0        | 0              | 0        | 0                  | 0        | 0              | 0        | 2                                | 1,0      | 2                                | 1,0      |             |      |             |
| DG standby heating                 | 2            | 0,5      | 1,0                      | 1          | 1                  | 0,5      | 0              |          | 1                  | 0,5      | 1              | 0,5      | 2                                | 1,0      | 2                                | 1,0      |             |      |             |
| <b>Total number and power (kW)</b> | <b>4 pcs</b> |          | <b>2,00</b>              | <b>1</b>   | <b>0,50</b>        | <b>0</b> | <b>0,00</b>    | <b>1</b> | <b>0,50</b>        | <b>1</b> | <b>0,50</b>    | <b>4</b> | <b>2,00</b>                      | <b>4</b> | <b>2,00</b>                      | <b>0</b> | <b>0,00</b> |      | <b>0,00</b> |
| Sim. factor                        |              |          | 1,00                     |            | 0,45               |          | 0,45           |          | 0,45               |          | 0,45           |          | 0,45                             |          | 0,45                             |          | 0,45        |      | 1,00        |
| <b>Total (kW)</b>                  |              |          | <b>2</b>                 |            | <b>0,2</b>         |          | <b>0,0</b>     |          | <b>0,2</b>         |          | <b>0,2</b>     |          | <b>0,9</b>                       |          | <b>0,9</b>                       |          | <b>0,9</b>  |      | <b>0,0</b>  |

(jatkuu)



TELESILTA OY  
JLa 24.4.2024

ELECTRIC LOAD BALANCE

| Group 4: Heating, ventilation and air conditioning |     |          |                          |            |                    |       |                |       |                    |       |                                  |       |                                  |      |           |      |     |      |
|--|-----|----------|--------------------------|------------|--------------------|-------|----------------|-------|--------------------|-------|----------------------------------|-------|----------------------------------|------|-----------|------|-----|------|
| Consumer   | pcs | Power kW | Total installed Power kW | Load fact. | At sea, Summer     |       | At sea, Winter |       | At sea, Winter     |       | Harbour shore connection, Summer |       | Harbour shore connection, Winter |      | Emergency |      |     |      |
|  |     |          |                          |            | Full operation pcs | (kW)  | Cruising pcs   | (kW)  | Full operation pcs | (kW)  | Cruising pcs                     | (kW)  | pcs                              | (kW) | pcs       | (kW) | pcs | (kW) |
| Wheelhouse Air Conditioning unit                   | 1   | 3,8      | 3,8                      | 0,8        | 1                  | 3,0   | 1              | 3,0   | 0                  |       | 0                                |       | 0                                |      | 0         |      |     |      |
| Saloon Air Conditioning unit                       | 1   | 3,8      | 3,8                      | 0,8        | 1                  | 3,0   | 1              | 3,0   | 0                  |       | 0                                |       | 0                                |      | 0         |      |     |      |
| Crew Cabins Air Conditioning unit                  | 1   | 3,8      | 3,8                      | 0,8        | 1                  | 3,0   | 1              | 3,0   | 0                  |       | 0                                |       | 0                                |      | 0         |      |     |      |
| Wheelhouse AC Heating                              | 1   | 2,0      | 2,0                      | 0,4        | 0                  |       | 0              |       | 1                  | 0,8   | 1                                | 0,8   | 0                                |      | 0         |      |     |      |
| Captains AC Heating                                | 1   | 1,5      | 1,5                      | 0,4        | 0                  |       | 0              |       | 1                  | 0,6   | 1                                | 0,6   | 0                                |      | 0         |      |     |      |
| Saloon AC Heating                                  | 1   | 2,0      | 2,0                      | 0,4        | 0                  |       | 0              |       | 1                  | 0,8   | 1                                | 0,8   | 0                                |      | 0         |      |     |      |
| Galley AC Heating                                  | 1   | 2,0      | 2,0                      | 0,4        | 0                  |       | 0              |       | 1                  | 0,8   | 1                                | 0,8   | 0                                |      | 0         |      |     |      |
| Crew AC Heating                                    | 1   | 1,5      | 1,5                      | 0,4        | 0                  |       | 0              |       | 1                  | 0,6   | 1                                | 0,6   | 0                                |      | 0         |      |     |      |
| Room Fan Coil Unit                                 |     |          |                          |            |                    |       |                |       |                    |       |                                  |       |                                  |      |           |      |     |      |
| Electric heaters                                   |     |          |                          |            |                    |       |                |       |                    |       |                                  |       |                                  |      |           |      |     |      |
| Accommodation Fresh air supply fans                | 1   | 1,0      | 1,0                      | 0,9        | 1                  | 0,9   | 1              | 0,9   | 1                  | 0,9   | 1                                | 0,9   | 1                                | 0,9  | 1         | 0,9  |     |      |
| Accommodation Exhaust fans                         | 1   | 1,0      | 1,0                      | 0,9        | 1                  | 0,9   | 1              | 0,9   | 1                  | 0,9   | 1                                | 0,9   | 1                                | 0,9  | 1         | 0,9  |     |      |
| Accommodation window defrosting fans               | 1   | 2,0      | 2,0                      | 0,8        | 0                  |       | 0              |       | 1                  | 1,6   | 1                                | 1,6   |                                  |      | 1         | 1,6  |     |      |
| Floor heating toilet                               | 1   | 0,2      | 0,2                      | 0,7        | 1                  | 0,1   | 1              | 0,1   | 1                  | 0,1   | 1                                | 0,1   | 0                                |      | 0         |      |     |      |
| Floor heating shower                               | 1   | 0,3      | 0,3                      | 0,7        | 1                  | 0,2   | 1              | 0,2   | 1                  | 0,2   | 1                                | 0,2   | 0                                |      | 0         |      |     |      |
| Hand Dryer   | 2   | 1,4      | 2,7                      | 0,3        | 2                  | 0,8   | 0              |       | 2                  | 0,8   | 2                                | 0,8   | 0                                |      | 0         |      |     |      |
| Wheelhouse windows Heating                         | 1   | 3,7      | 3,7                      | 0,8        | 0                  |       | 0              |       | 1                  | 3,0   | 1                                | 3,0   | 0                                |      | 1         | 3,0  |     |      |
| Wheelhouse window Defrosting fans                  | 1   | 2,0      | 2,0                      | 0,8        | 0                  |       | 0              |       | 1                  | 1,6   | 1                                | 1,6   | 0                                |      | 1         | 1,6  |     |      |
| Engine rooms fans                                  | 4   | 1,5      | 6,0                      | 0,8        | 4                  | 4,8   | 4              | 4,8   | 4                  | 4,8   | 4                                | 4,8   | 4                                | 4,8  | 4         | 4,8  |     |      |
| Machinery space ventilation fans                   | 1   | 0,50     | 0,5                      | 0,8        | 1                  | 0,4   | 1              | 0,4   | 1                  | 0,4   | 1                                | 0,4   | 1                                | 0,4  | 1         | 0,4  |     |      |
| Wheelhouse Pilot chair - Heating (MAÄRÄ7)          | 3   | 0,10     | 0,3                      | 0,8        | 0                  |       | 0              |       | 1                  | 0,1   | 1                                | 0,1   |                                  |      | 0         |      |     |      |
| Oil fired boiler (Control power)                   | 1   | 0,1      | 0,1                      | 0,8        | 1                  | 0,1   | 1              | 0,1   | 1                  | 0,1   | 1                                | 0,1   |                                  |      | 0         |      |     |      |
| Total number and power (kW):                       | 26  | pcs      | 40,12                    |            | 15                 | 17,30 | 13             | 16,49 | 21                 | 18,02 | 21                               | 18,02 | 2                                | 1,80 | 5         | 7,96 | 0   | 0,00 |
| Sim. factor  |     |          | 0,80                     |            |                    | 0,80  |                | 0,80  |                    | 0,80  |                                  | 0,80  |                                  | 0,80 |           | 0,80 |     | 1,00 |
| Total (kW)   |     |          | 32                       |            |                    | 13,8  |                | 13,2  |                    | 14,4  |                                  | 14,4  |                                  | 1,4  |           | 6,4  |     | 0,0  |

(jatkuu)

ELECTRIC LOAD BALANCE

Group 5: cooling equipment

| Consumer   | pcs | Power kW | Total installed Power kW | Load fact. | At sea, Summer     |      | At sea, Summer |      | At sea, Winter     |      | At sea, Winter |      | Harbour shore connection, Summer |      | Harbour shore connection, Winter |      | Emergency |      |
|--|-----|----------|--------------------------|------------|--------------------|------|----------------|------|--------------------|------|----------------|------|----------------------------------|------|----------------------------------|------|-----------|------|
|  |     |          |                          |            | Full operation pcs | (kW) | Cruising pcs   | (kW) | Full operation pcs | (kW) | Cruising pcs   | (kW) | pcs                              | (kW) | pcs                              | (kW) | pcs       | (kW) |
| Sea water inlets, side valves                      | 1   | 0,1      | 0,1                      | 0,9        | 1                  | 0,1  | 1              | 0,1  | 1                  | 0,1  | 1              | 0,1  | 0                                |      | 0                                |      |           |      |
| Sea water cooling pumps (Työväneittä tarkempaa tie | 2   | 2,0      | 4,0                      | 0,9        | 1                  | 1,8  | 1              | 1,8  | 1                  | 1,8  | 1              | 1,8  | 0                                |      | 0                                |      |           |      |
| Aux Fresh water cooling circulation pumps          | 2   | 2,0      | 4,0                      | 0,9        | 2                  | 3,6  | 2              | 3,6  | 2                  | 3,6  | 2              | 3,6  | 0                                |      | 0                                |      |           |      |
|  |     |          |                          |            |                    |      |                |      |                    |      |                |      |                                  |      |                                  |      |           |      |
|  |     |          |                          |            |                    |      |                |      |                    |      |                |      |                                  |      |                                  |      |           |      |
|  |     |          |                          |            |                    |      |                |      |                    |      |                |      |                                  |      |                                  |      |           |      |
| Total number and power (kW)                        | 5   | pcs      | 8,10                     |            | 4                  | 5,49 | 4              | 5,49 | 4                  | 5,49 | 4              | 5,49 | 0                                | 0,00 | 0                                | 0,00 | 0         | 0,00 |
| Sim. factor  |     |          | 0,60                     |            |                    | 0,60 |                | 0,60 |                    | 0,60 |                | 0,60 |                                  | 0,60 |                                  | 0,60 |           | 1,00 |
| Total (kW)   |     |          | 5                        |            |                    | 3,3  |                | 3,3  |                    | 3,3  |                | 3,3  |                                  | 0,0  |                                  | 0,0  |           | 0,0  |

Group 6: Deck machinery

| Consumer                                     | pcs | Power kW | Total installed Power kW | Load fact. | At sea, Summer     |      | At sea, Summer |      | At sea, Winter     |      | At sea, Winter |      | Harbour shore connection, Summer |      | Harbour shore connection, Winter |      | Emergency |      |
|--|-----|----------|--------------------------|------------|--------------------|------|----------------|------|--------------------|------|----------------|------|----------------------------------|------|----------------------------------|------|-----------|------|
|  |     |          |                          |            | Full operation pcs | (kW) | Cruising pcs   | (kW) | Full operation pcs | (kW) | Cruising pcs   | (kW) | pcs                              | (kW) | pcs                              | (kW) | pcs       | (kW) |
| Deck Cranes (Hydraulics) (Kontrollisähkö???) | 0   |          |                          | 0,5        | 0                  |      | 0              |      | 0                  |      | 0              |      | 0                                |      | 0                                |      |           |      |
|  |     |          |                          |            |                    |      |                |      |                    |      |                |      |                                  |      |                                  |      |           |      |
|  |     |          |                          |            |                    |      |                |      |                    |      |                |      |                                  |      |                                  |      |           |      |
| Total number and power (kW)                  | 0   | pcs      | 0,00                     |            | 0                  | 0,00 | 0              | 0,00 | 0                  | 0,00 | 0              | 0,00 | 0                                | 0,00 | 0                                | 0,00 | 0         | 0,00 |
| Sim. factor                                  |     |          | 1,00                     |            |                    | 1,00 |                | 1,00 |                    | 1,00 |                | 1,00 |                                  | 0,50 |                                  | 1,00 |           | 1,00 |
| Total (kW)                                   |     |          | 0                        |            |                    | 0,0  |                | 0,0  |                    | 0,0  |                | 0,0  |                                  | 0,0  |                                  | 0,0  |           | 0,0  |

Group 7: Cargo handling equipment

| Consumer                    | pcs | Power kW | Total installed Power kW | Load fact. | At sea, Summer     |      | At sea, Summer |      | At sea, Winter     |      | At sea, Winter |      | Harbour shore connection, Summer |      | Harbour shore connection, Winter |      | Emergency |      |
|-----------------------------|-----|----------|--------------------------|------------|--------------------|------|----------------|------|--------------------|------|----------------|------|----------------------------------|------|----------------------------------|------|-----------|------|
|                             |     |          |                          |            | Full operation pcs | (kW) | Cruising pcs   | (kW) | Full operation pcs | (kW) | Cruising pcs   | (kW) | pcs                              | (kW) | pcs                              | (kW) | pcs       | (kW) |
|                             |     |          |                          |            |                    |      |                |      |                    |      |                |      |                                  |      |                                  |      |           |      |
|                             |     |          |                          |            |                    |      |                |      |                    |      |                |      |                                  |      |                                  |      |           |      |
| Total number and power (kW) | 0   | pcs      | 0,00                     |            | 0                  | 0,00 | 0              | 0,00 | 0                  | 0,00 | 0              | 0,00 | 0                                | 0,00 | 0                                | 0,00 | 0         | 0,00 |
| Sim. factor                 |     |          | 1,00                     |            |                    | 1,00 |                | 1,00 |                    | 1,00 |                | 1,00 |                                  | 1,00 |                                  | 1,00 |           | 1,00 |
| Total (kW)                  |     |          | 0                        |            |                    | 0,0  |                | 0,0  |                    | 0,0  |                | 0,0  |                                  | 0,0  |                                  | 0,0  |           | 0,0  |

(jatkuu)

ELECTRIC LOAD BALANCE

Group 8: Galley, pantry and workshop equipment

| Consumer                             | pcs | Power kW | Total installed Power kW |     | At sea, Summer Full operation |      | At sea, Summer Cruising |      | At sea, Winter Full operation |      | At sea, Winter Cruising |      | Harbour shore connection, Summer |      | Harbour shore connection, Winter |      | Emergency |      |      |
|--------------------------------------|-----|----------|--------------------------|-----|-------------------------------|------|-------------------------|------|-------------------------------|------|-------------------------|------|----------------------------------|------|----------------------------------|------|-----------|------|------|
|                                      |     |          | Load fact.               | pcs | (kW)                          | pcs  | (kW)                    | pcs  | (kW)                          | pcs  | (kW)                    | pcs  | (kW)                             | pcs  | (kW)                             | pcs  | (kW)      | pcs  | (kW) |
| Microwave                            | 1   | 1,0      | 1,0                      | 0,2 | 1                             | 0,2  | 0                       | 0    | 1                             | 0,2  | 1                       | 0,2  | 0                                | 0    | 0                                | 0    | 0         | 0    | 0    |
| Coffee maker                         | 2   | 3,0      | 6,0                      | 0,2 | 2                             | 1,2  | 0                       | 0    | 1                             | 0,6  | 1                       | 0,6  | 0                                | 0    | 0                                | 0    | 0         | 0    | 0    |
| Refrigerator + Freezer               | 2   | 0,4      | 0,9                      | 0,8 | 1                             | 0,4  | 0                       | 0    | 1                             | 0,4  | 1                       | 0,4  | 0                                | 0    | 0                                | 0    | 0         | 0    | 0    |
| Oven                                 | 1   | 3,0      | 3,0                      | 0,5 | 1                             | 1,5  | 0                       | 0    | 1                             | 1,5  | 1                       | 1,5  | 0                                | 0    | 0                                | 0    | 0         | 0    | 0    |
| Cooker hood                          | 1   | 0,1      | 0,1                      | 0,5 | 1                             | 0,1  | 0                       | 0    | 0                             | 0    | 0                       | 0    | 0                                | 0    | 0                                | 0    | 0         | 0    | 0    |
| Laundry wash machine + dryer         | 2   | 2,5      | 5,0                      | 0,5 | 1                             | 1,3  | 0                       | 0    | 1                             | 1,3  | 1                       | 1,3  | 0                                | 0    | 0                                | 0    | 0         | 0    | 0    |
| Saloon Passenger seats power sockets | 24  | 0,1      | 2,4                      | 0,9 | 24                            | 2,2  | 0                       | 0    | 24                            | 2,2  | 24                      | 2,2  | 0                                | 0    | 0                                | 0    | 0         | 0    | 0    |
| Power sockets schuko                 | 10  | 0,4      | 4,0                      | 0,4 | 10                            | 1,6  | 0                       | 0    | 10                            | 1,6  | 10                      | 1,6  | 10                               | 1,6  | 10                               | 1,6  | 10        | 1,6  | 10   |
| Workshop equipments / tools          | 1   | 1,0      | 1,0                      | 0,5 | 1                             | 0,5  | 0                       | 0    | 1                             | 0,5  | 1                       | 0,5  | 1                                | 0,5  | 1                                | 0,5  | 1         | 0,5  | 1    |
| Store and locker equipments / tools  | 1   | 1,0      | 1,0                      | 0,5 | 1                             | 0,5  | 0                       | 0    | 1                             | 0,5  | 1                       | 0,5  | 1                                | 0,5  | 1                                | 0,5  | 1         | 0,5  | 1    |
| Toilet bowls (Macerator)             | 2   | 0,6      | 1,2                      | 0,1 | 2                             | 0,1  | 0                       | 0    | 2                             | 0,1  | 2                       | 0,1  | 0                                | 0    | 0                                | 0    | 0         | 0    | 0    |
| Total number and power (kW):         | 47  | pcs      | 24,38                    |     | 43                            | 9,31 | 0                       | 0,00 | 41                            | 8,66 | 41                      | 8,66 | 12                               | 2,60 | 12                               | 2,60 | 0         | 0,00 | 0    |
| Sim. factor                          |     |          | 1,00                     |     | 0,30                          | 0,30 | 0,30                    | 0,30 | 0,30                          | 0,30 | 0,30                    | 0,30 | 0,30                             | 0,30 | 0,30                             | 0,30 | 0,30      | 0,30 | 1,00 |
| Total (kW):                          |     |          | 24                       |     | 2,8                           | 2,8  | 0,0                     | 0,0  | 2,6                           | 2,6  | 2,6                     | 2,6  | 0,8                              | 0,8  | 0,8                              | 0,8  | 0,8       | 0,8  | 0,0  |

Group 9: Lighting/radio equipment/etc

| Consumer                     | pcs | Power kW | Total installed Power kW |     | At sea, Summer Full operation |      | At sea, Summer Cruising |      | At sea, Winter Full operation |      | At sea, Winter Cruising |      | Harbour shore connection, Summer |      | Harbour shore connection, Winter |      | Emergency |      |      |
|------------------------------|-----|----------|--------------------------|-----|-------------------------------|------|-------------------------|------|-------------------------------|------|-------------------------|------|----------------------------------|------|----------------------------------|------|-----------|------|------|
|                              |     |          | Load fact.               | pcs | (kW)                          | pcs  | (kW)                    | pcs  | (kW)                          | pcs  | (kW)                    | pcs  | (kW)                             | pcs  | (kW)                             | pcs  | (kW)      | pcs  | (kW) |
| Radio equipments             | 1   | 0,5      | 0,5                      | 1   | 1                             | 0,5  | 1                       | 0,5  | 1                             | 0,5  | 1                       | 0,5  | 1                                | 0,5  | 1                                | 0,5  | 1         | 0,5  | 1    |
| Lighting - Wheelhouse        | 1   | 0,6      | 0,6                      | 1   | 1                             | 0,6  | 1                       | 0,6  | 1                             | 0,6  | 1                       | 0,6  | 1                                | 0,6  | 1                                | 0,6  | 1         | 0,6  | 1    |
| Lighting - Main Deck         | 1   | 0,1      | 0,1                      | 1   | 1                             | 0,1  | 1                       | 0,1  | 1                             | 0,1  | 1                       | 0,1  | 1                                | 0,1  | 1                                | 0,1  | 1         | 0,1  | 1    |
| Lighting - Machinery space   | 1   | 1,0      | 1,0                      | 1   | 1                             | 1,0  | 0                       | 0    | 1                             | 1,0  | 1                       | 1,0  | 1                                | 1,0  | 1                                | 1,0  | 1         | 1,0  | 1    |
| Lighting - Outside deck      | 10  | 0,0      | 0,3                      | 0,5 | 0                             | 0    | 0                       | 0    | 10                            | 0,2  | 10                      | 0,2  | 0                                | 0    | 0                                | 0    | 0         | 0    | 0    |
| Emergency lighting           | 1   | 0,5      | 0,5                      | 0,5 | 0                             | 0    | 0                       | 0    | 0                             | 0    | 0                       | 0    | 0                                | 0    | 0                                | 0    | 0         | 0    | 0,3  |
| Search light                 | 2   | 0,5      | 1,0                      | 0,6 | 2                             | 0,6  | 0                       | 0    | 2                             | 0,6  | 2                       | 0,6  | 0                                | 0    | 0                                | 0    | 0         | 0    | 0    |
| Fire detection system        | 1   | 0,1      | 0,1                      | 1   | 1                             | 0,1  | 1                       | 0,1  | 1                             | 0,1  | 1                       | 0,1  | 1                                | 0,1  | 1                                | 0,1  | 1         | 0,1  | 1    |
| Emergency stop system        | 1   | 0,1      | 0,1                      | 1   | 1                             | 0,1  | 1                       | 0,1  | 1                             | 0,1  | 1                       | 0,1  | 1                                | 0,1  | 1                                | 0,1  | 1         | 0,1  | 1    |
| Window wipers                | 5   | 0,2      | 0,8                      | 1   | 1                             | 0,1  | 1                       | 0,1  | 5                             | 0,1  | 5                       | 0,1  | 0,5                              | 0,1  | 0,5                              | 0,1  | 0,5       | 0,1  | 0,1  |
| CCTV, Data etc               | 1   | 0,3      | 0,3                      | 1   | 1                             | 0,3  | 1                       | 0,3  | 1                             | 0,3  | 1                       | 0,3  | 1                                | 0,3  | 1                                | 0,3  | 1         | 0,3  | 0,3  |
| Propulsion controls          | 1   | 0,5      | 0,5                      | 1   | 1                             | 0,5  | 1                       | 0,5  | 1                             | 0,5  | 1                       | 0,5  | 1                                | 0,5  | 1                                | 0,5  | 1         | 0,5  | 1    |
| Automation system            | 1   | 0,4      | 0,4                      | 1   | 1                             | 0,4  | 1                       | 0,4  | 1                             | 0,4  | 1                       | 0,4  | 1                                | 0,4  | 1                                | 0,4  | 1         | 0,4  | 0,4  |
| Wheelhouse Power sockets     | 1   | 0,5      | 0,5                      | 1   | 1                             | 0,5  | 0                       | 0    | 1                             | 0,5  | 1                       | 0,5  | 1                                | 0,5  | 1                                | 0,5  | 1         | 0,5  | 0,5  |
| Total number and power (kW): | 28  | pcs      | 4,15                     |     | 13                            | 4,78 | 9                       | 2,68 | 23                            | 4,93 | 23                      | 4,93 | 11                               | 4,18 | 12                               | 4,19 | 6         | 1,85 | 1,85 |
| Sim. factor                  |     |          | 1,00                     |     | 0,90                          | 0,90 | 0,90                    | 0,90 | 0,90                          | 0,90 | 0,90                    | 0,90 | 0,90                             | 0,90 | 0,90                             | 0,90 | 0,90      | 0,90 | 1,00 |
| Total (kW):                  |     |          | 4                        |     | 4,3                           | 4,3  | 2,4                     | 2,4  | 4,4                           | 4,4  | 4,4                     | 4,4  | 3,8                              | 3,8  | 3,8                              | 3,8  | 3,8       | 3,8  | 1,9  |

(jatkuu)

TELESILTA OY  
JLa 24.4.2024

**ELECTRIC LOAD BALANCE**

Group 10: Navigation equipment

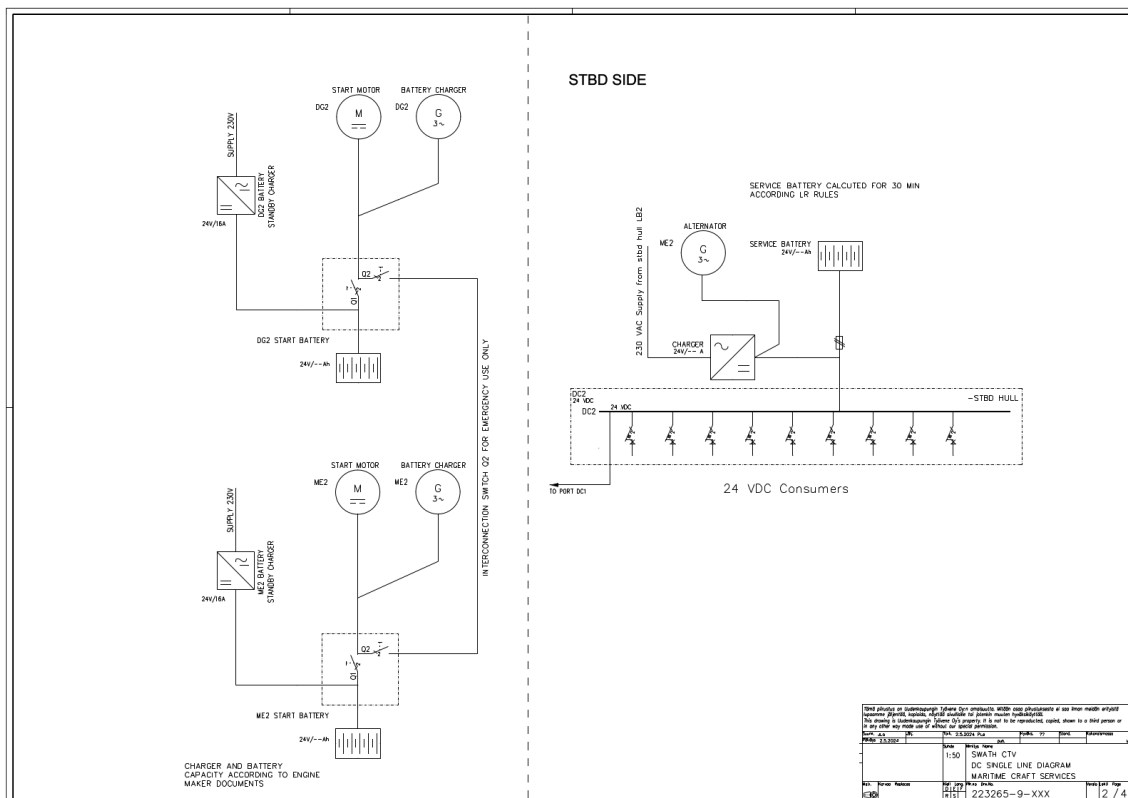
| Consumer                     | pcs | Power kW | Total installed Power kW | Load fact. | At sea, Summer     |      | At sea, Summer |      | At sea, Winter     |      | At sea, Winter |      | Harbour shore connection, Summer |      | Harbour shore connection, Winter |      | Emergency |      |
|------------------------------|-----|----------|--------------------------|------------|--------------------|------|----------------|------|--------------------|------|----------------|------|----------------------------------|------|----------------------------------|------|-----------|------|
|                              |     |          |                          |            | Full operation pcs | (kW) | Cruising pcs   | (kW) | Full operation pcs | (kW) | Cruising pcs   | (kW) | pcs                              | (kW) | pcs                              | (kW) | pcs       | (kW) |
| Navigation equipments        | 1   | 3,0      | 3,0                      | 1          | 1                  | 3,0  | 1              | 3,0  | 1                  | 3,0  | 1              | 3,0  | 1                                | 3,0  | 1                                | 3,0  | 1         | 3,0  |
| Intercom system PA+GA+Tel    | 1   | 1,5      | 1,5                      | 1          | 1                  | 1,5  | 1              | 1,5  | 1                  | 1,5  | 1              | 1,5  | 1                                | 1,5  | 1                                | 1,5  | 1         | 1,5  |
| Navigation lamps             | 11  | 0,1      | 0,7                      | 1          | 6                  | 0,4  | 6              | 0,4  | 6                  | 0,4  | 6              | 0,4  | 6                                | 0,4  | 16                               | 1,0  | 6         | 0,4  |
| Total number and power (kW): | 13  | pcs      | 5,22                     |            | 8                  | 4,89 | 8              | 4,89 | 8                  | 5    | 8              | 5    | 8                                | 4,89 | 18                               | 5,54 | 8         | 4,89 |
| Sim. factor                  |     |          | 1,00                     |            |                    | 1,00 |                | 0,40 |                    | 1,00 |                | 1,00 |                                  | 1,00 |                                  | 1,00 |           | 1,00 |
| Total (kW):                  |     |          | 5                        |            |                    | 4,9  |                | 2,0  |                    | 4,9  |                | 4,9  |                                  | 4,9  |                                  | 5,5  |           | 4,9  |

Group 11: Special equipment

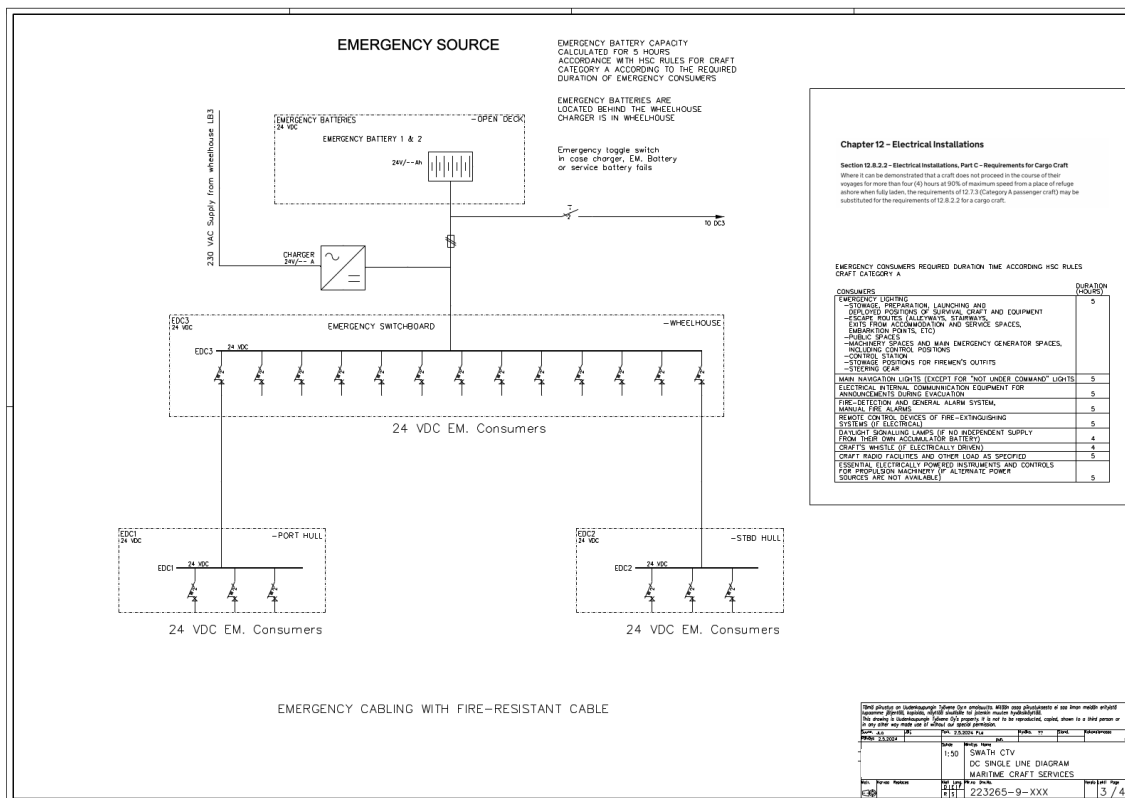
| Consumer                                      | pcs | Power kW | Total installed Power kW | Load fact. | At sea, Summer     |      | At sea, Summer |      | At sea, Winter     |      | At sea, Winter |      | Harbour shore connection, Summer |      | Harbour shore connection, Winter |      | Emergency |      |
|---|-----|----------|--------------------------|------------|--------------------|------|----------------|------|--------------------|------|----------------|------|----------------------------------|------|----------------------------------|------|-----------|------|
|   |     |          |                          |            | Full operation pcs | (kW) | Cruising pcs   | (kW) | Full operation pcs | (kW) | Cruising pcs   | (kW) | pcs                              | (kW) | pcs                              | (kW) | pcs       | (kW) |
| Bow thruster (Hydraulic, Only control power?) | 2   |          |                          | 0,8        |                    |      |                |      |                    |      |                |      |                                  |      |                                  |      |           |      |
| Hull Protection (Ultrasound)                  | 1   |          |                          | 0,8        |                    |      |                |      |                    |      |                |      |                                  |      |                                  |      |           |      |
| Pressure washers                              | 1   | 5,0      | 5,0                      | 0,4        | 1                  | 2,0  | 0              |      | 1                  | 2,0  | 0              |      | 0                                |      | 0                                |      |           |      |
| Ride control                                  | 2   | 7,5      | 15,0                     | 0,2        | 2                  | 3,0  | 0              |      | 2                  | 3,0  | 2              | 3,0  |                                  |      |                                  |      |           |      |
| Total number and power (kW):                  | 6   | pcs      | 20,00                    |            | 3                  | 5,00 | 0              | 0,00 | 3                  | 5,00 | 2              | 3,00 | 0                                | 0,00 | 0                                | 0,00 | 0         | 0,00 |
| Sim. factor                                   |     |          | 1,00                     |            |                    | 1,00 |                | 1,00 |                    | 1,00 |                | 1,00 |                                  | 1,00 |                                  | 1,00 |           | 1,00 |
| Total (kW):                                   |     |          | 20                       |            |                    | 5,0  |                | 0,0  |                    | 5,0  |                | 3,0  |                                  | 0,0  |                                  | 0,0  |           | 0,0  |







(jatkuu)

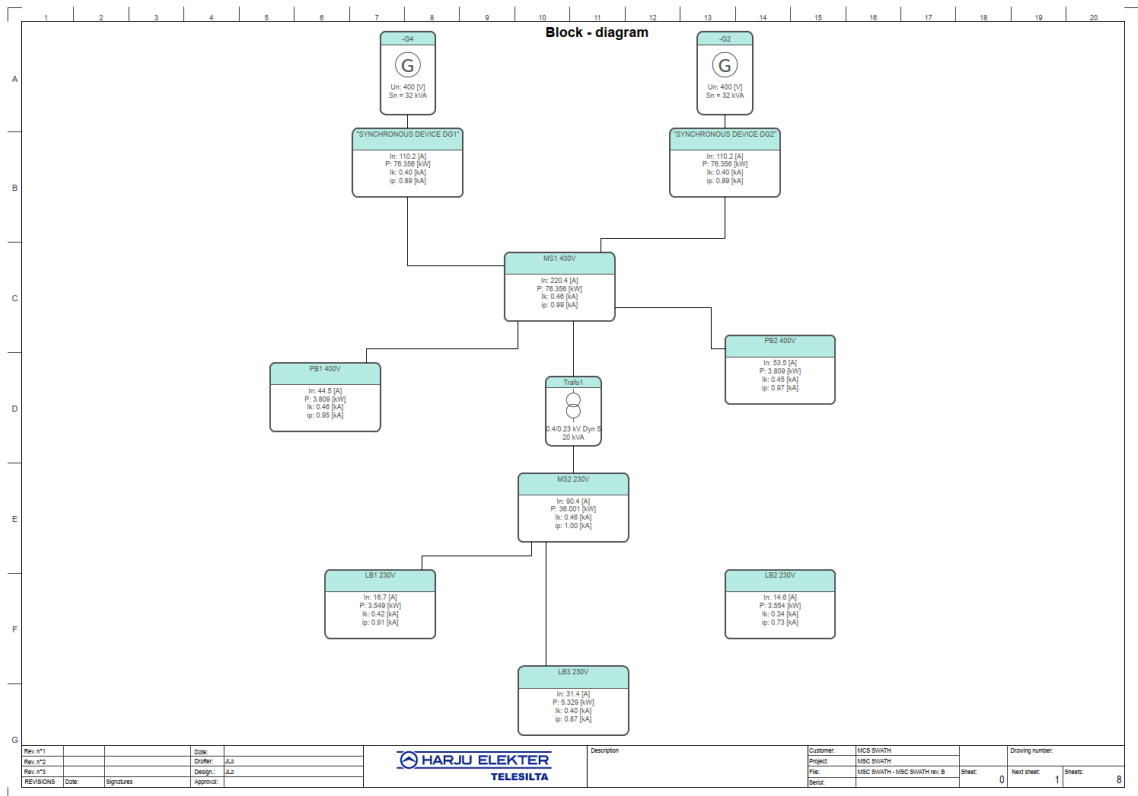


(jatkuu)



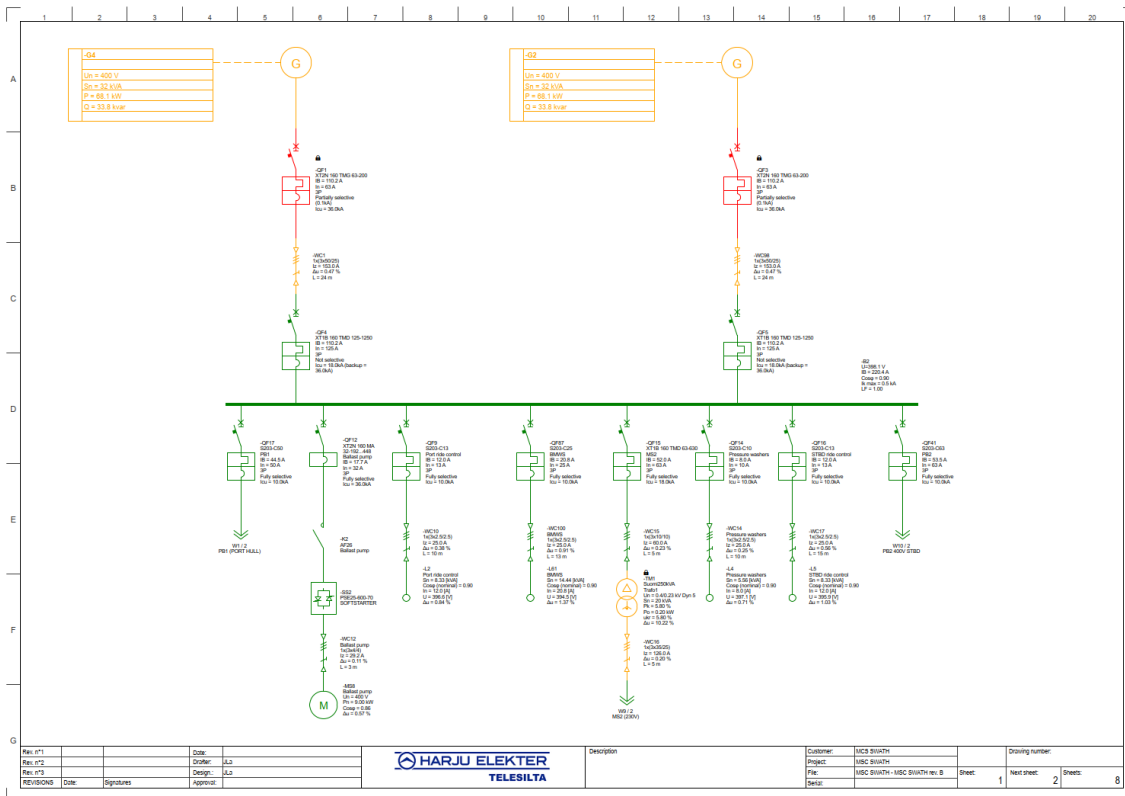
Liite 3. Oikosulkuvirtalaskelmat ja selektiivisyysanalyysi

1(8)



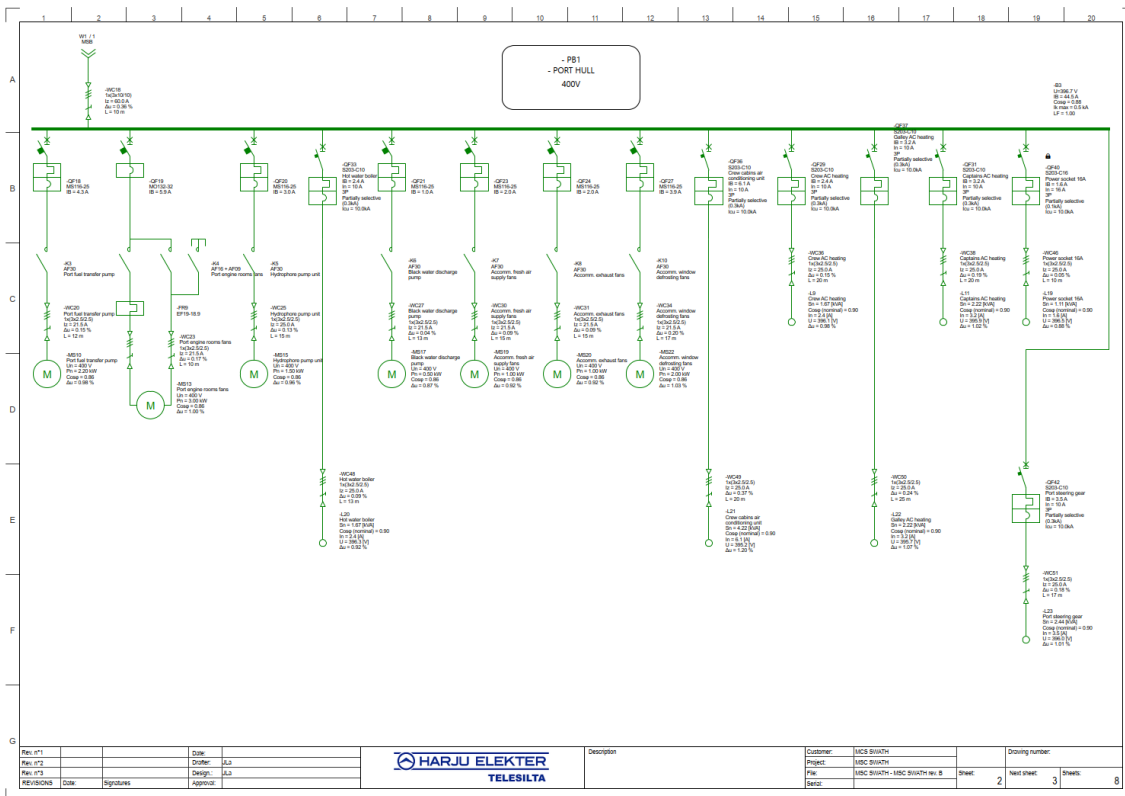
(jatkuu)

2(8)



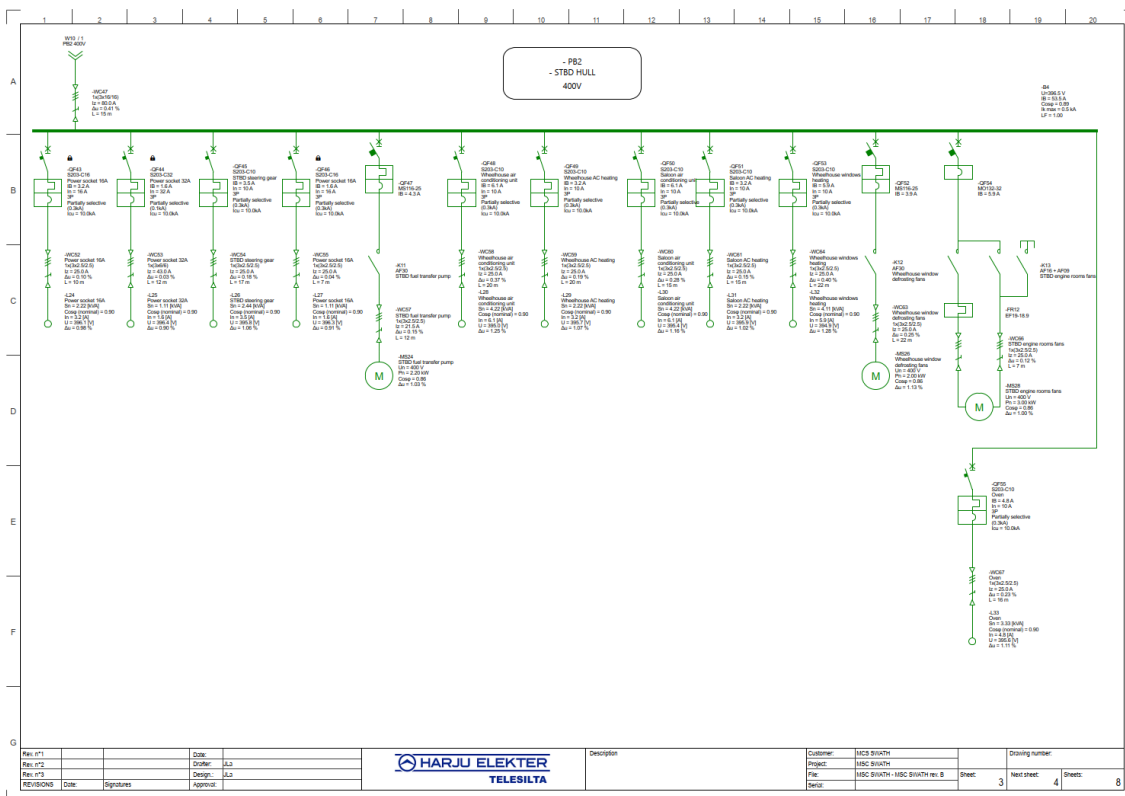
|           |      |            |          |  |             |           |                              |                 |        |             |
|-----------|------|------------|----------|--|-------------|-----------|------------------------------|-----------------|--------|-------------|
| Rev. nro  |      | Code       |          |  | Description | Customer: | MCS SWATH                    | Drawing number: |        |             |
| Rev. nro  |      | Code       |          |  |             | Project:  | MCS SWATH                    |                 | Sheet: | 1           |
| Rev. nro  |      | Code       |          |  |             | Date:     | MCS SWATH - MCS SWATH rev. 0 |                 |        | Next sheet: |
| REVISIONS | Date | Signatures | Approval |  |             | Sheet:    | 1                            | Next sheet:     | 2      |             |

(jatkuu)



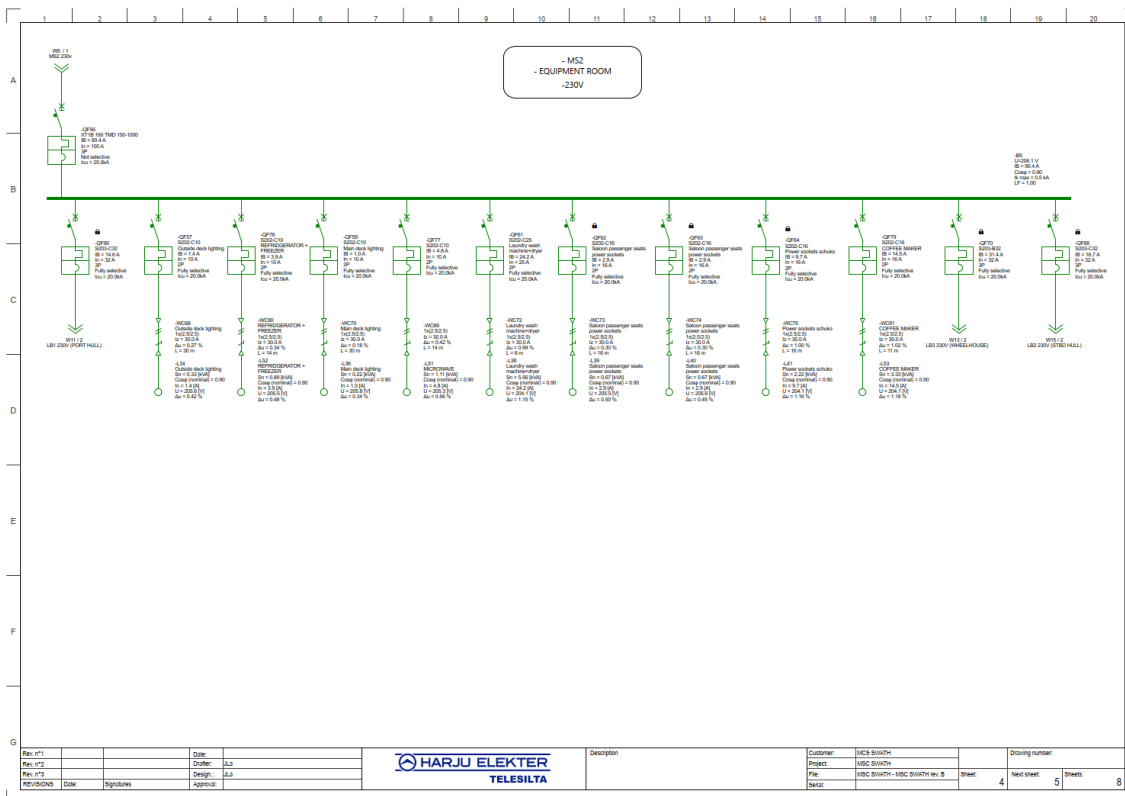
(jatkuu)

4(8)



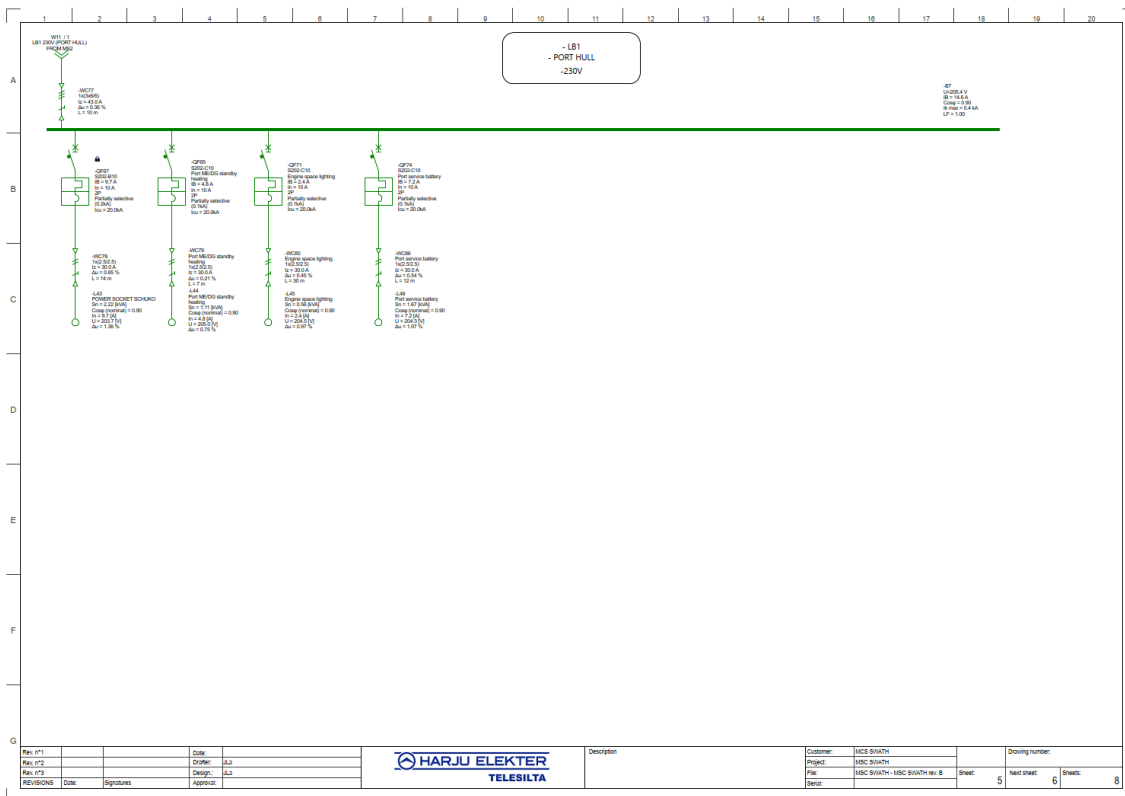
(jatkuu)





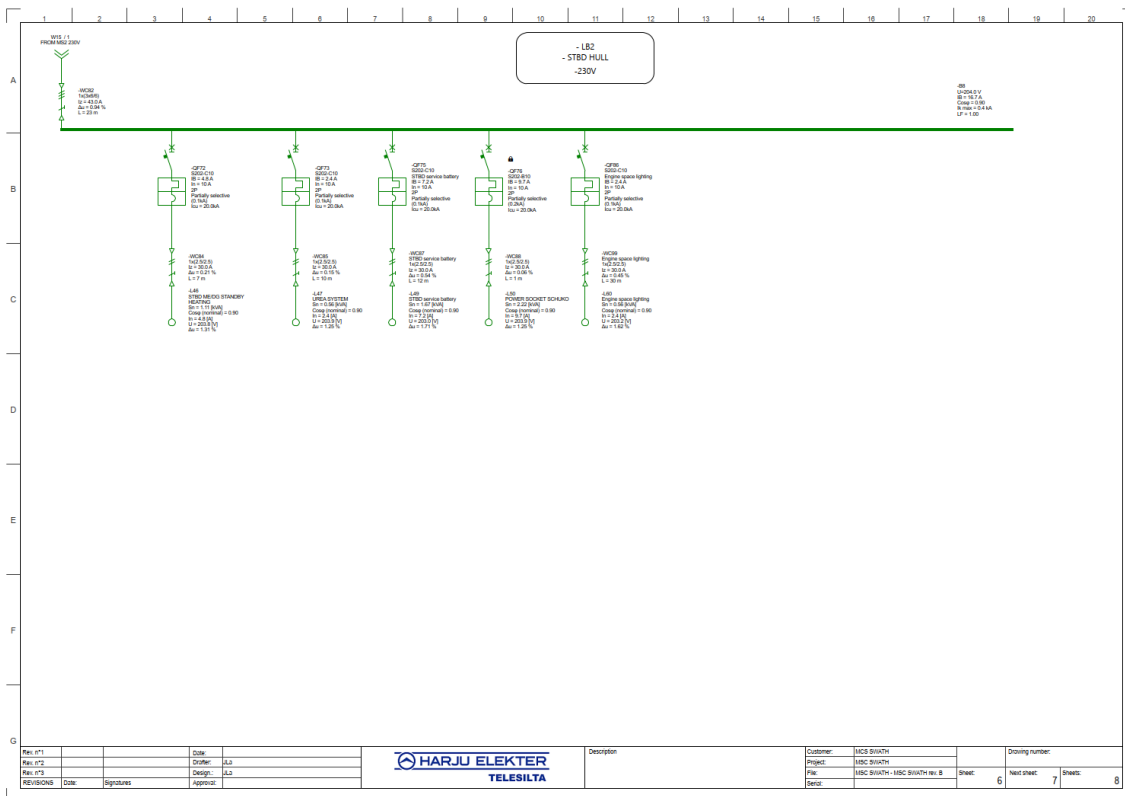
(jatkuu)

6(8)

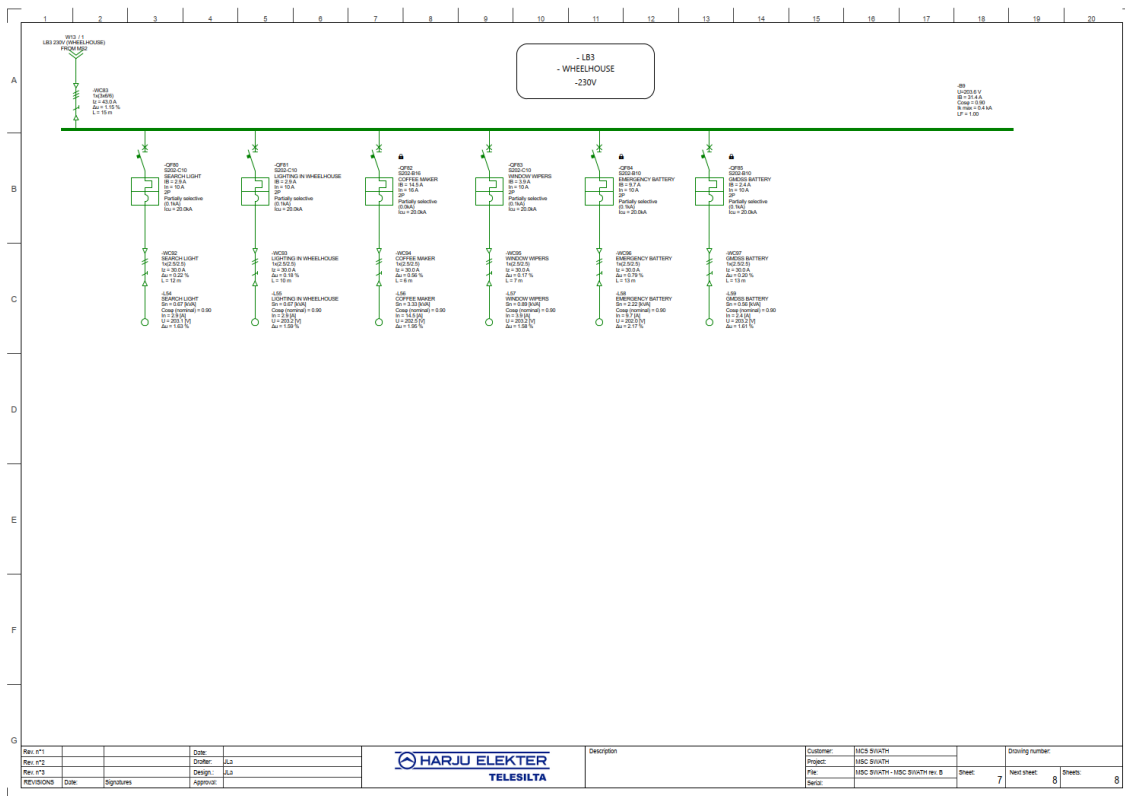


(jatkuu)

7(8)



(jatkuu)



| Rev. #  | Date | By | Appr. |
|---------|------|----|-------|
| Rev. #1 |      |    |       |
| Rev. #2 |      |    |       |
| Rev. #3 |      |    |       |



| REVISIONS | Date | Signatures | Approval |
|-----------|------|------------|----------|
|           |      |            |          |
|           |      |            |          |
|           |      |            |          |

| Customer  | Project   | File                         | Sheet | Next sheet | Sheets |
|-----------|-----------|------------------------------|-------|------------|--------|
| MSC SWATH | MSC SWATH | MSC SWATH - MSC SWATH rev. B | 7     | 8          | 8      |