

Robert Robson

# Laivojen propulsio-ohjausjärjestelmän testiym- päristön luonti

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Automaatiotekniikka

Insinöörityö

11.10.2017

Tekijä	Robert Robson
Otsikko	Laivojen propulsio-ohjausjärjestelmän testiympäristön luonti 11.10.2017
Sivumäärä	37 sivua + 4 liitettä
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Automaatiotekniikka
Ammatillinen pääaine	
Ohjaajat	Lehtori Kai Virta Modernisointi-osastopäällikkö Pertti Rönkkö Projektipäällikkö Pertti Jurva
<p>Insinöörityön tarkoituksena oli luoda ABB:n meriteollisuuden modernisointiyksikön toimitiloihin laivojen propulsio-ohjauksen testilaitteisto, jota tarvittaessa voidaan kuljettaa määrän- päästä toiseen testattavaksi. Testilaitteiston avulla voidaan etukäteen tutustua ja kokeilla, miten suunnitellut ohjelmat ja ohjausjärjestelmän muutokset sekä vikatilat vaikuttavat pro- pulsio-ohjaukseen. Propulsio-ohjauksen testi järjestelmästä voidaan kerätä tarkkaa ja toden- mukaista informaatiota järjestelmän tilasta.</p> <p>Saatua informaatiota hyödynnetään jo suunnitteluvaiheesta lähtien aina käyttöönottovaihee- seen asti. Testilaitteiston ansiosta käyttöönoton muihin vaiheisiin jää enemmän aikaa ja to- dennäköisyys projektin viivästymiseen on vähäisempää. Ohjauspöytien rakennuttajaa aja- tellen työn fokus oli ohjauspiirikaavioiden ja layout-kuvien piirtämisessä ja komponenttiluet- telon sekä laitteiston käyttöohjeen laatimisessa.</p> <p>Projekti tehtiin tiiviissä yhteistyössä ABB:n henkilökunnan kanssa ja suurin osa dokumen- teista tehtiin AutoCad ja MS Office-ohjelmatyökaluilla.</p> <p>Kaikkiaan työ onnistui suhteellisen hyvin vaikka kaikkiin tavoitteisiin ei päästy. Propulsio- ohjelmiston integrointi jäi tekemättä resurssien puutteen ja aikataulullisten syiden vuoksi. Laitteiston ja ohjelmiston käyttöönotto jää odottamaan ja pöytien tilaus on käsittelyssä.</p>	
Avainsanat	Propulsio, ohjausjärjestelmä, testiympäristö, AC800

Author	Robert Robson
Title	Ships propulsion control test environment assembly
Number of Pages	37 pages + 4 appendices 10 October 2017
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Automation engineering
Professional Major	
Instructors	Kai Virta, Principal Lecturer Pertti Rönkkö, Modernization Manager Pertti Jurva, Project Manager
<p>The purpose of this study was to create a propulsion testing platform for the ABB Marine and Ports division. With the testing platform, propulsion software changes and system fault effects on the propulsion control can be tested before the commissioning. Exact and real information about the system state can be surveyed from propulsion testing environment. The gathered information is exploited all the way from the planning phase to the commissioning. Propulsion testing environment offers more time for the other phases of commissioning and probability for project delay is decreased.</p> <p>The focus in this work is to provide detailed hardware- and layout- documents for the control desk manufacturer and operation manual for the user.</p> <p>Project was done in co-operation with ABB personnel and the majority of the detailed hardware- and layout- documents were done with AutoCad-software and Microsoft Office tools.</p> <p>Overall this was quite a succesful project, but it was not fully completed. Propulsion testing software is still missing and there was not enough resources and time available for software integration. Hardware- and software comissioning is now pending and specified control desks are on the way.</p>	
Keywords	Propulsion, Control, Test Environment, AC800M

## Sisällys

1 Johdanto	1
1.1 ABB Marine and Ports ja propulsiotekniikka	2
1.2 Propulsiotekniikka	2
1.3 Azipod	3
1.4 Laivojen dieselsähköinen propulsiojärjestelmä	4
1.5 Propulsion ohjaus ja takaisinkytketty säätöpiiri	5
1.6 PI-säätö ja PID-säätö	7
1.7 Ohjauspaikkojen välinen hierarkia	8
1.8 Laivojen energiantuotanto ja -varastointi	9
1.9 Käyttöönottotestit	10
2 Työssä käytettävä hardware ja ohjelmat	11
2.1 Kontrollerit	11
2.2 Kuva 7. AC800M kontrolleri (eng. PLC= Programmable Logic Controller).	11
2.3 I/O-Moduulit	12
2.4 Rajapinnat	13
2.5 Taajuusmuuttajat	14
2.6 Emulaattori (käytön simulointi)	16
2.7 Kytkimet ja Häätä-Seis	16
2.8 Sähkökahvat	16
2.9 HMI	18
2.10 Ohjelmat	18
3 Työn suunnittelu ja projektissa huomioituja asioita	19
3.1 Dokumentointi	19
3.2 I/O:t	19
3.3 Rajapinnat ja tiedonsiirto	19
3.4 Indikaatio	20
3.5 Budjetti	20
3.6 Ohjauspöydät ja paneelien layout	20

4 Työn toteutus	24
4.1 Hardware-suunnittelu	25
4.2 Hardwaren integrointi ja kytkennät	28
4.3 Ohjelmistosuunnittelu	28
4.4 Työselostus	29
4.5 Vastiaan tulleet haasteet, ongelmakohdat ja ratkaisut	29
5 Loppupäätelmät	33

## Lyhenteet

AIU	Azipod Interface unit, Azipod-huoneen ohjauskaappi.
Bridge	Silta, Ohjaushuone laivan yläkannella.
DDCS	Kontrollerin ja käytön välinen optinen kuituyhteys.
DP	Dynamic position järjestelmä pitää laivaa tietyssä paikassa.
ECR	Engine Control Room, Ohjaushuone sillan alapuolella laivan keskiosassa.
LBU	Local Backup Unit, hätäohjaus-paikka.
PCU	Propulsion Control Unit, Tauluhuoneen ohjauskaappi.
PI	Proportional-Integral, säätötekniikassa tunnettu PI-säädin.
PMS	Power Management System. Tehon Hallinta Järjestelmä.
Port	Paapuuri eli laivan vasen puoli.
Propulsio	Työntövoimaa tuottava järjestelmä.
RCU	Remote Control Unit, navigointi huoneen ohjauskaappi.
RCS	Remote Control System, etäohjauspaikka.
Starboard	Styyrpuuri eli laivan oikea puoli.

## 1 Johdanto

Opinnäytetyö tehtiin maaliskuun - syyskuun 2017 aikana ABB:n Marines-laivojen modernisointiyksikölle Helsingin Vuosaareen. Työn aiheena oli rakentaa modernisointiyksikön tiloihin propulsio-ohjausjärjestelmien testi- ja simulointiympäristö. ABB:llä oli jo olemassa oleva nykyaikainen testiympäristö, josta otettiin mallia.

Tarve insinööriytyölle syntyi aikataulullisista syistä, sillä laivojen telakointiajat ovat lyhyempiä kuin koskaan aiemmin ja asiakkaat menettävät rahaa aina, kun laiva on toimitetomana telakalla. Laivojen modernisointiin voi kulua yllättävän paljon työtunteja, ja tähän on modernisointiyksikön aina varauduttava. Tästä johtuen modernisoinnista vastaavan yksikön henkilökunta näki, että olisi hyvä olla mahdollisuus tehdä propulsiojärjestelmien ohjelmistojen simulointitestejä valmiille testilaitteistolle jo etukäteen, jotta varsinainen modernisointi- ja käyttöönottovaihe sujuisi entistä tehokkaammin. Työllä arveltiin olevan painoarvoa, sillä työ mahdollisesti sulavoittaa käyttöönottoprosessia, mikä näkyy asiakastytyväisyydessä ja vaikuttaa yrityksen imagoon.

Insinööriytyön suunnitteluvaiheessa rajattiin ja priorisoitiin laivojen ohjaustekniikan testauksen kannalta kriittiset osa-alueet, ja projektia vietiin eteenpäin ensisijaisesti nämä asiat huomioiden. Lisäksi oli huomioitava käytettävissä olevat resurssit erityisesti silmällä pitäen työn tilaajan vaatimuksia, toiveita ja parannusehdotuksia kussakin vaiheessa. Laitteiston ja käyttöliittymän helppokäyttöisyys, tarkoituksenmukaisuus ja luotettavuus olivat keskeisessä roolissa suunnittelu- ja toteutusvaiheessa. Insinööriytyö valmisteltiin tiiviissä yhteistyössä ABB Marines -osaston henkilöstön ja työstä vastaavan lehtorin Kai Virran kanssa. Projektin aikana tuli konsultointiapua propulsiojärjestelmien software- ja hardware-suunnittelijoilta, ja työtä valvoi läheltä projektipäällikkö Pertti Jurva sekä osastopäällikkö Pertti Rönkkö. [1;2;3;4;5;6;7;8;9;10.]

Luvussa yksi perehdytetään lukija pikaisesti ABB:n historiaan ja yleisellä tasolla dieselsähköiseen propulsiotekniikkaan menemättä liian syvälle aiheeseen. Luvussa kaksi tutustutaan työssä käytettyyn hardwareen ja softwareen. Lopussa päästään suunnittelu- ja toteutusvaiheeseen ja asioita on havainnollistettu kuvilla.

## 1.1 ABB Marine & Ports ja propulsiotekniikka

ABB Marine and Ports sijaitsee Helsingin Vuosaaren satama-alueella ja Haminassa. Maailmanlaajuisesti meriteollisuusjaoston henkilöstämäärä on 1 700 ja operoivaa toimintaa on 20 maassa. Yksikkö kehittää meriteollisuuden tarpeisiin automaatio- että sähköistysratkaisuja ja Suomen yksikkö vastaa myös globaalisti meriteollisuuden palveluliiketoiminnasta. [11]

ABB Marine and Ports seisoo myytyjen Azipod-propulsiojärjestelmien takana ja tarjoaa asiakkailleen kokonaispalvelun, mikä takaa laivan käytettävyyden koko elinkaaren ajan suunnittelupöydältä aina eläkeikään saakka. Myytyjen Azipod-laitteiden kuntoa tarkkailaan jatkuvasti ja laitteita huolletaan aina tietyin määräajoin, ja tarpeen vaatiessa tehdään ennaltaehkäiseviä huoltoja ennen varsinaista vikaantumista. Huoltoapua on saatavilla nopeasti globaalin huolto-organisaation ansiosta. [12.]

## 1.2 Propulsiotekniikka

Propulsio on työntövoimaa tuottava järjestelmä, jolla halutaan kumota laivan kulkuvastus. Syntynyt kulkuvastus johtuu veden ja rungon välisestä kitkasta, aallokosta ja ilmanvastuksesta. Propulsiopotkurit synnyttää veden massavirtausta taaksepäin, minkä seurauksena alus saa voimakomponentin eteenpäin.

Markkinoilla on pääasiassa olemassa kahdenlaista propulsiojärjestelmää. Ensimmäinen on mekaaninen ja toinen on sähköinen propulsiojärjestelmä. Sähköinen propulsiojärjestelmä on monelta osin mekaanista propulsiojärjestelmää edistyksellisempi ja siksi on nyt yleistymässä laivoilla. Merkittävimpiä eroja mekaanisen ja sähköisen järjestelmän välillä on akselilinjaus, ohjattavuus ja tilantarve konehuoneessa.

Mekaanisen järjestelmän akselilinjaus on merenpohjan ja virtausten suhteen kulmassa, mikä aiheuttaa lisääntyneen virtausvastuksen vuoksi tehohäviötä propulsiossa. Lisäksi akselilinjaus vie enemmän tilaa konehuoneesta ja tarvitaan erillinen peräsin laivan ohjailuun. Sähköisessä järjestelmässä propulsioyksikkö on Azipodin sisällä ja ohjattavuudeltaan huomattavasti parempi 360 asteen kääntyvyytensä vuoksi



### 1.3 Azipod

ABB Marine and Ports valmistaa Vuosaarissa Azipod-propulsiojärjestelmiä laivateollisuuteen. Azipodjärjestelmä sai alkunsa jo vuonna 1990, jolloin ensimmäinen asennettiin Hietalahden varustamon Seili-nimiseen alukseen. [13.]

Azipodpotkuri kääntyy akselinsa ympäri 360 astetta, jonka vuoksi sillä saavutetaan hyvä ohjauskyky. Tämä luonnollisesti myös lisää turvallisuutta merellä, eikä ylimääräisiä peräsimiä tarvita. Potkuri on suunniteltu niin, että vesi pääsee virtaamaan häiriöttömästi, jolloin ABB:n mukaan polttoainetta säästyy 20 % verrattuna perinteisiin potkureihin. [11.]

Azipod tuoteperheessä (kuva 1) on useita kokoja, joista pienin on teholtaan 1,5 MW ja suurin n. 20 MW. [14.]



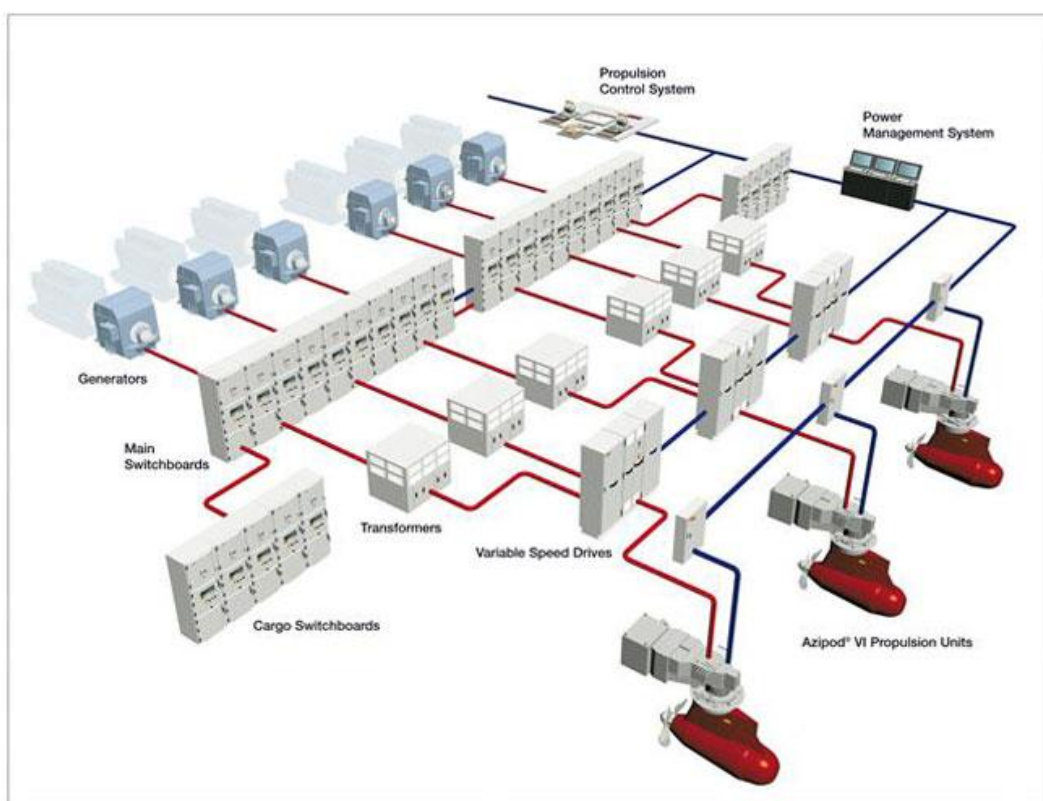
Kuva 1. Ensimmäinen asennettu Azipod-yksikkö. [15.]

ABB:n julkaiseman artikkelin mukaan Azipod on myös ympäristöystävällisempi vaihtoehto, sillä hiilidioksidipäästöt ovat huomattavasti pienempiä jos vertaa tyypilliseen potkurijärjestelmään. Tyypillisessä risteilijässä järjestelmällä voidaan vuodessa saavuttaa 10 000 tonnia alemmat hiilidioksidipäästöt. [11.]

## 1.4 Laivojen dieselsähköinen propulsiojärjestelmä

Dieselmoottorin, sähkögeneraattorin ja sähkömoottorin muodostamaa kokonaisuutta kutsutaan dieselsähköiseksi propulsiojärjestelmäksi. Järjestelmän alkupäässä dieselmoottori pyörittää sähkögeneraattoria, mikä tuottaa kolmivaiheista vaihtovirtaa laivan sähkölaitteille, kuten esimerkiksi propulsiota tuottaville sähkömoottoreille.

Asiaa havainnollistaa parhaiten alla oleva periaatekuva (kuva 2) Dieselsähköisestä propulsiojärjestelmästä.



Kuva 2. Tyypillinen dieselelektrinen propulsiojärjestelmä. [16.]

Dieselmoottorit eivät normaalisti käy täydellä teholla, vaan ne jakavat kuormitusta portaattomasti riippuen sähkölaitteiden vaatimasta kuormasta, eli tehosta. Suuri osa tuotetusta sähköstä kulutetaan propulsioon. Propulsiota tuottavien moottoreiden tehot liikku-

vat 1,5...20 MW:n välillä. Tyypillisesti Azipod-propulsioyksiköt sijaitsevat laivan takaosassa ja keulassa on pienemmät propulsiothrusterit, joiden tarkoitus on lisätä laivan ohjattavuutta ja vakautta, mutta ei propulsiota eteen- tai taaksepäin.

### 1.5 Propulsion ohjaus ja takaisinkytketty säätöpiiri

Laivan propulsio- ja kääntömoottoreita ohjataan kierrosnopeuden (rpm) ja kääntökulman **sin-** sekä **cos-**ohjearvoilla, eli referenssiarvoilla. Kahvojen referenssisignaalit on liitetty ohjelmallisesti komentosillan ja ECR:n kauko-ohjaimiin (RCS). Hätäohjauspaikoilla (LBU) RPM- ja Angle-referenssiä ohjataan painonapeilta.

Propulsion käynnistys, pysäytys, indikaatio, komentopaikan vaihto ynnä muut propulsion ohjaukseen liittyvät funktiot löytyvät ohjauspöytien paneelien painonapeilta. Varsinaisia propulsion ohjaus- ja hätäohjauspaikkoja on tyypillisesti laivalla komentosillalla, ECR:ssä, ja Azipod huoneessa. Ohjauspöydät sijaitsevat usein eri puolilla laivaa, kuten esimerkiksi komentosillalla paapuurissa, styyrpuurissa, edessä, keskellä ja takana. Ohjaus paikkojen määrä vaihtelee eri laivaprojektien välillä, joten tähän ei ole olemassa tiettyä nyrkkisääntöä.

Tyypillisesti laivojen ohjauspaikoilla on seuraavat painikepaneelit:

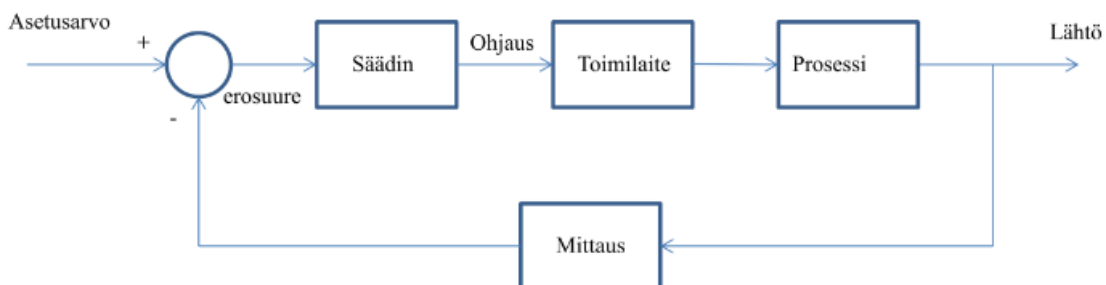
- **Propulsion Control** (propulsion ohjaus)
- **Steering Gear** (kääntömoottoreiden ohjaus)
- **Common** (komentopaikan hyväksyntä ja luovutus sekä ohjausmoodin valinta)
- **Command Transfer** (komentopaikan vaihto ECR/Silta)
- **Local Backup** (Propulsio- ja kääntömoottoreiden ohjaus).

Propulsion ohjauksen kannalta keskeisimpiä laitteita ovat RCU-, PCU- ja AIU-kaappien sisällä olevat kontrollerit, jotka keräävät, käsittelevät ja lähettävät toimintaohjeita laivan laitteistolle ohjelmoidun logiikkaohjelman mukaisesti. Kaappeja on laivoilla aina yksi jokaista pääpropulsioyksikköä kohden ja tämä siksi, että ohjauskaapit pysyvät toisistaan riippumattomina vikatilanteissa ja voidaan esimerkiksi tehdä huoltotoimenpiteitä toiselle puolelle ilman, että menetetään täysin laivan ohjailukyky. Risteilijöissä on vielä kaappien sisällä kontrollerit kahdennettu, eli kun Master-kontrolleri putoaa verkosta, niin Slave-

kontrolleri saa Master-statusen ja ryhtyy välittömästi ajamaan ladattua propulsio-ohjelmaa.

Laivoissa on ohjauspaikoilla sähköisiä kahvoja sekä ruoripyöriä, joilla voidaan analogisesti ohjata laivan kulkusuuntaa ja nopeutta. Ohjaukseen myös keskeisesti liittyy paljon automaattisia ohjauksia ja lukituksia, jolla varmistetaan laivan turvallinen operointi ja minimoidaan todennäköisyys laite- tai henkilövahingoille. Esimerkiksi laivan propulsiomootoreita ei pysty käynnistämään jos propulsioon RPM-referenssi on suurempi kuin 0 %. Kahvat pitää siis asettaa nolalukemiin ennen propulsioon käynnistämistä. Tästä voi jo päätellä, minkälaisia vaaratilanteita ja tuhoa voisi syntyä jo pelkästään edellä mainitun lukituksen puuttuessa.

Propulsio-ohjaus perustuu takaisinkytkettyyn suljetun säätöpiirin malliin (kuva 3). Säätöpiirissä kontrolleri eli säädin laskee annetun asetusarvon ja sähkömoottorin akselin pyörimisnopeutta mittaavalta sensorilta saadun mittaustuloksen erotuksen ja lähettää käskyn (eli toimituureen) toimilaitteelle. Tämä toimituure pakottaa toimilaitteen muuttamaan pyörimisnopeuttaan vaikuttaen prosessiin eli propulsioon.



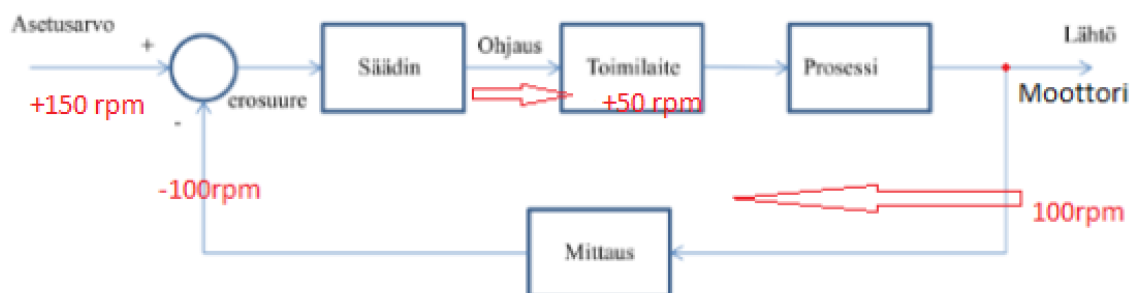
Kuva 3. Malli suljetusta säätöpiiristä. [17.]

Toki tässä yhteydessä on hyvä huomioida, että todellisuudessa se ei ole aivan näin yksinkertaista. Tähän liittyy paljon muuta dynamiikkaa, kuten esimerkiksi ajorampit ja erilaisia rajoittavia tekijöitä. Tällä tavoin todellinen PI-säätimen ulostulon referenssisignaali on otettu huomioon muuttuvia tekijöitä, minkä ansiosta järjestelmä ei kuormitu poikkeuksellisessa tilanteessa. Toisin sanoen propulsiota synnyttävien sähkömoottoreiden momenttia ja kehänopeutta ohjataan rajoitusten avulla. Asian havainnollistamiseksi alla on esimerkki suljetun säätöpiirin soveltamisesta (kuva4).

- **Asetusarvo** on propulsiomootorin kierrosnopeuden säätö, rpm.
- **Mittaus** on propulsiomootorin todellinen mitattu nopeus, rpm.
- **Säädin** on AC800M-kontrolleri.
- **Toimilaite** on taajuusmuuttaja, jonka perässä on sähkömoottori.
- **Prosessi** on kierrosnopeuden säätäminen.

Kuvitellaan, että sähkömoottorin todellinen kehänopeus olisi esimerkiksi 100 rpm ja haluttiin asettaa sähkömoottorin nopeudeksi 150 rpm. Sähkökahvan tai painonappien avulla asetetaan propulsion referenssiksi 150 rpm (=asetusarvo). Säädin nyt laskee 150 rpm ja 100 rpm:n erotuksen, josta saadaan erotuksena 50 rpm lisää nopeusreferenssiä taajuusmuuttajalle.

Säädin lähettää +50 rpm:n käskyn (kuva 4) taajuusmuuttajalle ja sähkömoottori ajaa rajoitusrampin mukaisesti 150 rpm:n asetisarvoonsa kunnes ero suure on tasan 0, eli kunnes mitattu olotila-arvo on 150 rpm.



Kuva 4. Moottorin kehänopeuden säätö suljetussa säätöpiirissä.

Aikaisemmin mainitulla rampilla tarkoitetaan sähkömoottorin akselin kiihdytystä ja hidastusta suhteessa aikaan. Rampilla on tarkoitus suojata sähkömoottoreita ja potkureita liiallisilta kuormituksilta.

## 1.6 PI-säätö ja PID-säätö

Edellisessä luvussa tutustuttiin suljettuun säätöpiiriin ja propulsioon rpm:n ohjaukseen. Propulsiojärjestelmän säätöpiirin toiminta perustuu PI-säätimeen, joka on yksi säätötekniikan yleisimpiä säätimiä. PI-säätimessä on P-osa eli suhdeosa ja I-osa eli integroiva osa (kuva 5), joilla yhdessä saadaan aikaiseksi säätö, jolla saavutetaan riittävän nopea ja stabiili systeemin vaste ja samalla eliminoidaan mahdollisia säätövirheitä. [18.]

$$u = K_P e + K_I \int e dt + K_D \frac{de}{dt}$$

Kuva 5. Säätimen ulostulon  $u$  matemaattinen kaava, jossa on P-osa( $K_P$ ), I-osa( $K_I$ ) ja D-osa( $K_D$ ). [19.]

P-osaan kuuluva termi  $K_P$  kuvaa säädön voimakkuutta, eli kuinka nopeasti halutaan ohjata jotakin tiettyä suuretta ajan suhteen. Yksinään P-termi ei riitä kovin tarkkaan ohjaukseen ja säätövirhettä syntyy.

I-osa integroi erosuuretta ajan suhteen ja pyrkii palauttamaan erosuureen mahdollisimman lähelle nollaa. I-termiä käytetään usein yhdessä P-osan kanssa, jolloin pystytään eliminomaan säätövirhettä tehokkaammin. Toisin sanoen systeemin vaste eli ulostulo pyrkii stabiloitumaan mahdollisimman nopeasti asetusarvoonsa, eli kunnes erosuure on 0.

D-osa derivoi erosuuretta ja pyrkii ennakoimaan prosessissa syntyviä poikkeustilanteita. D-osa tekee systeemistä stabiilimman ja pystyy myös huomioimaan säätövirhettä.

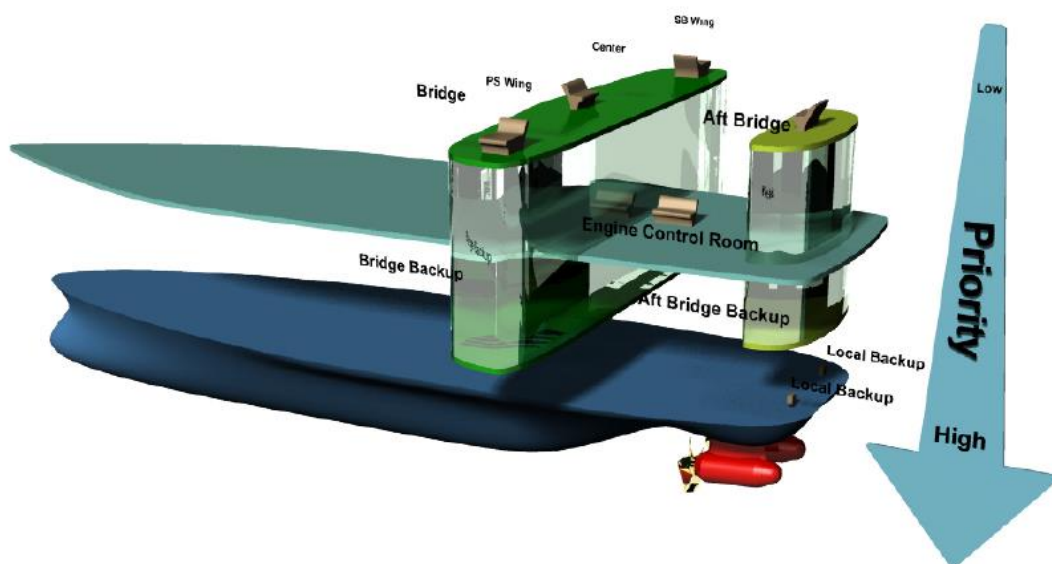
## 1.7 Ohjauspaikkojen välinen hierarkia

Ohjauspaikkojen välinen hierarkia on yksi keskeisimmistä käsitteistä propulsio-ohjauksessa. Käytännössä ohjauspaikkojen välisessä hierarkiassa on kyse siitä, mistä pisteestä ohjauksen referenssi signaalia seurataan. Lisäksi komentopaikkaa vaihtaessa

molemmissa komentopaikoissa täytyy vielä varmistaa ohjauspaikan valinta kättelyprotokollalla (eng. handshaking). Tästä poiketen korkeamman prioriteetin ohjauspaikka voi ottaa suoraan komennon alemman prioriteetin ohjauspaikalta ilman kättelyprotokollaa.

Ohjaus paikkojen välillä vallitsee tietynlainen prioriteetti (kuva 6), joista vahvin alla olevan luettelon ensimmäisenä.

- Azipod moottorihuone (Vahvin)
- ECR, Engine Control Room
- Silta, Bridge
- Autopilot/ DP/Joystick control systems eli automaattiohjaus. (Heikoin)



Kuva 5. Ohjaus paikkojen välinen hierarkia. [20.]

Kun aktiivinen ohjauspaikka luovutetaan, niin tämä pitää erikseen vielä hyväksyä uudella ohjauspaikalla. Periaatteena on, että ohjaus pysyy aina aktiivisena eikä synny tilannetta, missä menetetään ohjaus ohjauspaikan vaihdon yhteydessä.

## 1.8 Laivojen energiantuotanto ja -varastointi

Laivoissa tarvittava teho tuotetaan dieselmootoreiden tuottaman liike-energian avulla. Dieselmootoreiden ja generaattoreiden akselit on fyysisesti yhdistetty mekaanisen kytkimen välityksellä toisiinsa.

Generaattorit synnyttävät laivan kulutuslaitteiden tarvitseman energian, ja ylimääräinen energia varastoidaan akkuihin myöhempää käyttöä varten. Generaattoreiden tuottama energia on kolmivaiheista vaihtojännitettä, joka muunnetaan muuntajan ensiöpiirin jälkeen pienemmäksi sähköjakotauluja ja kulutuslaitteita varten. Generaattorit tahdistetaan verkon taajuuden mukaan, niin ettei synny vaarallisia vaihe-eroja sähkötaulun päävirtakiskojen ja generaattoreiden välille. Tahdistus tapahtuu automaattisesti, mutta tarvittaessa myös manuaalisesti päätauluhuoneesta käsin. Käytännössä sähkötaulujen automaatio estää kiskokatkaisimia yhdistämästä generaattorit sähköverkkoon jos havaitaan vaihe-eroa L1-, L2- ja L3- virtakiskoissa.

Laivassa on vaihtosähköinen (AC) sähköjakelujärjestelmä, joten energian varastointia varten akkuja varten tarvitaan invertteri, joka ladattaessa muuntaa vaihtosähkön tasasähköksi ja purkautuessaan toisinpäin.

Energiaverkko jaetaan kahteen segmenttiin, eli puhutaan potkurikuormasta ja hotellikuormasta. Hotellikuorma käsittää laivan kaikki sähkölaitteet, lukuun ottamatta potkureiden sähkömootoreita ja taajuusmuuttajia. Potkurikuormalla tarkoitetaan pääpropulsio- ja keulapotkureita ja keulapotkureita, eli thustereita.

Generaattorin maksimaalinen kuormitusasetus

Operaattori voi halutessaan ohjata dieselgeneraattoreiden keskimääräistä kuormitusta 70 – 100 % välillä käytössä olevien generaattoreiden nimellisestä tehosta.

Asetus vaikuttaa saatavilla olevaan kokonaistehoon ja laskukaava tälle on seuraava:

$$= \text{Saatavilla oleva kokonaisteho} * (\text{asetusarvo} / 100)$$

Propulsio lasketaan sen oletuksen varaan, että PMS pitää kytkettyjen päämootoreiden kuormituksen tasapainossa. Tämän ratkaisun mukaisesti jos jokin generaattoreista ottaa



vähemmän kuormitusta kuin asetusarvo, niin jäljellä olevat generaattorit ottavat kuormitusta asetusarvoa enemmän. Sähkölaitoksen keskimääräinen kuormitus ei kuitenkaan ylitä asetusarvoa. Tämä on varmistettu automaatiolla ja sähkömekaanisilla kuormakytkeillä. Epävakaassakin tilanteessa generaattoreiden kuormitukset eivät ylitä 100%:n kuormitustasoa.

## 1.9 Käyttöönottotestit

Laivojen RCS-järjestelmien käyttöönoton viralliset testit ovat FAT, HAT, SAT ja FMEA. Testit suoritetaan tietyssä laivan käyttöönottoprosessivaiheessa, ja testien tarkoitus on todentaa luokituslaitokselle, asiakkaalle ja varustamolle, että tarvittavat tarkistukset on tehty ja RCS-järjestelmä on toiminut vaaditulla tavalla. Testeissä kaikki vaiheet dokumentoidaan ylös todistajien läsnäollessa ja tehdään tarvittaessa dokumentteihin remark-merkintöjä, mikäli RCS:n toiminnallisuudessa korjattavaa löytyy. Testit tarvittaessa uusitaan, mikäli korjattavat asiat ovat merkityksellisiä. FAT-testi tehdään tehtaalla, HAT-telakalla ja SAT-meriajossa ja jokaiseen testin lisäksi tehdään FMEA-testit, joiden tarkoituksena on luoda järjestelmään keinotekoisesti erilaisia vikatilanteita, kuten esim. johtojen ja kaapeleiden irroituksia yms. Testien tarkoitus on katsoa, täyttääkö järjestelmä luokituslaitoksien ja Trafín määräämät vaatimukset propulsiolaitteistolle.

## 2 Työssä käytettävä hardware ja ohjelmat

### 2.1 Kontrollerit

Työssä käytetään DIN-kiskoon asennettavia modulaarisia AC800M-kontrollereita (kuva 7). Kontrolleriin on saatavilla monipuolisesti erilaisia moduuleita, joilla ohjainta voidaan skaalata avoimesti erikokoisia sovelluksia varten. Keskusyksikön prosessointitehoa, muistia, SIL-luokitusta ja redundanssin tukea voidaan vapaasti räätälöidä tarpeisiin sopivaksi. Kaikissa kontrollereissa on vähintään kaksi redundanttista ethernet-porttia. Työssä käytetään PM864A-keskusyksiköitä. [2.]



Kuva 6. AC800M kontrolleri (eng. PLC= Programmable Logic Controller).

AC800M-kontrolleria käytetään yleisesti Marine-puolella laivojen modernisointi-, ja uudisrakennuspuolella. Varsinainen logiikkaohjelma ohjelmoidaan Compact Control Builderillä.

#### AC500

AC500-kontrolleri on myös tehokas, luotettava ja skaalautuva, ja sillä voidaan toteuttaa monimutkaisia automaatio-ohjauksia (kuva 8). Tilaajan toiveesta kontrolleri halutaan AC800M:n rinnalle jatkoa ajatellen. Siihen ei tule toistaiseksi muuta toiminnallisuutta, kuin vain hälytystietojen käsittelyä.



Kuva 7. AC500-kontrolleri.

Kontrolleriin on saatavilla erilaisia suorittimia, väylä- ja liitäntämoduuleja, I/O-moduuleja ja lisävarusteita.

## 2.2 I/O-Moduulit

Projektin laitteiden väliseen kommunikointiin tarvittiin I/O- ja rajapintamoduuleja. Mallia katsottiin vanhoista modernisointi projekteista, ja asiasta käytiin keskustelua tarkemmin projektipalaverien yhteydessä. [2;3;4.]

Projektissa käytetään seuraavia tulo-/lähtökortteja:

- AC800M-kontrollerin moduulit DI810, DO820, AI810, AI820, AI830A
- AC500-kontrollerin moduulit DI524, DO524, AI523, AO523.

Yllä mainitut digitaaliset ja analogiset tulo- ja lähtökortit ovat keskenään hieman erilaisia, ja esimerkiksi kanavien määrän ja signaalien suhteen on eroavaisuuksia. Moduulit on valittu yhdessä ammattilaisten kanssa ja yhteensopivuus on tarkistettu pohjalevyjen ja kenttälaitteiden kanssa. I/O-moduulit ovat propulsiohjauksen kannalta hyvin keskeisessä roolissa, koska jokainen paneeli, ohjaukshakua ja mittari on johdotettu fyysisesti I/O-kortteille.



Kuva 8. S800 I/O-moduuli ja pohjalevy.

S800 I/O-moduulit ovat keskenään samannäköisiä ja kompaktin kokoisia. Moduulit tarvitsevat toimiakseen pohjalevyn TU830V1 tai TU831V1 (laite oikealla kuvassa 9), joihin nämä asennetaan.

## 2.3 Rajapinnat

Yleisesti laivoilla käytetään useampaa kommunikointiprotokollaa, ja tämäkään projekti ei ole poikkeus. Kenttälaitteiden hajautukseen käytetään nykyään kenttäväyliä monestakin syystä. Kenttäväylällä toteutettu järjestelmä on edullinen, yksinkertainen sekä turvallinen, sillä koko järjestelmä on usein jaettu toisistaan riippumattomiin sektoreihin ja esimerkiksi vikatilanteissa ei kokonaista prosessia tarvitse ajaa alas. Prosessin hallittavuus ja vianetsintä on näin helpompaa, eikä laitteiden väliin tarvita niin paljon kaapelointia, kuten ennen kenttäväyliä on ollut tapana tehdä.

Työhön tulee erilaisia rajapintoja kontrollereiden ja muun prosessin väliin, kuten mm. Modbus TCP interface CI867, Driver bus interface CI858, Profibus interface CI854, CAN-open, Ethernet. [2;3;4.]

## 2.4 Taajuusmuuttajat

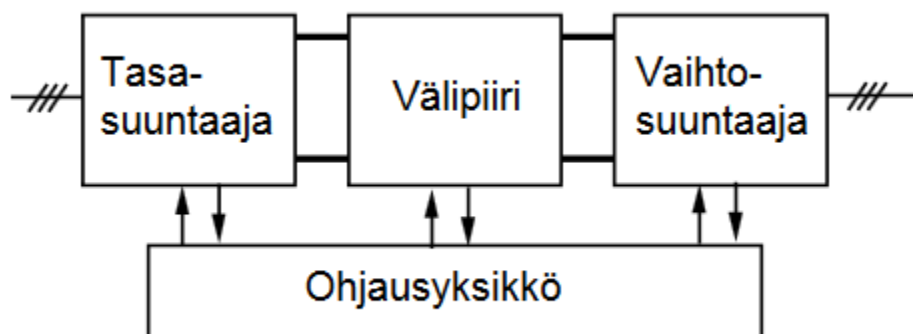
Alunperin työhön kaavailut ACS880-taajuusmuuttajat jäävät pois tästä projektista, koska käyttöpuolen toiminnot voidaan simuloida ohjainkorteilla. Kortit ovat selvästi edullisempi vaihtoehto, ja asennustilaa säästyy eikä tarvita 3-vaiheista sähköverkkoa. [2;3;4.]

Jokaisessa tämän päivän laivassa on vähintään taajuusmuuttaja tai vaihtosuuntaajayksikkö jokaista sähkömoottoria kohden. Vaikka taajuusmuuttajaa ei työhön tule, niin on hyvä vilkaista taajuusmuuttajien teoriaa.

Laivojen propulsiomootoreiden taajuusmuuttajat on fyysisesti kytketty muuntajien jälkeisiin toisiopuolen jakotauluihin, koska generaattoreiden tuottama ensiöpuolen pääjännitetaso on liian suuri moottoreiden käämitykselle sekä eristyksille ja muutenkin on vaikeampi hallita. Turvallisuussyistä taajuusmuuttajilta on pystyttävä katkaisemaan sähkön syöttö sekä automaattisesti että manuaalisesti kaikissa mahdollisissa tilanteissa, ja tämän mallintamiseksi työssä on käytetty sopivia sulkeutuvia DO820-moduulin releiden koskettimia.

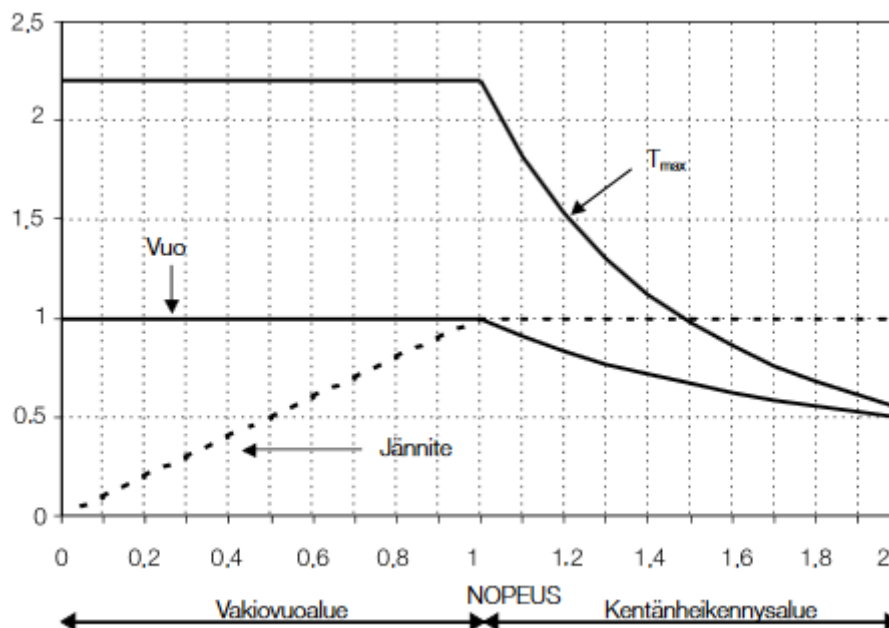
Laivojen propulsiojärjestelmän toisiopuolen jännite voi olla esimerkiksi luokkaa 3300 VDC ja mikäli taajuusmuuttajalle jännite on suurempi kuin 3300V, niin se pudotetaan muuntajien avulla pienemmäksi. Työssä ei kuitenkaan tarvita noin suuria jännitteitä, joten muuntajien jälkeen tuodaan järjestelmään laitteiden tarvitseman 24 voltia tasajännitettä.

Taajuusmuuttajien käyttö alentaa merkittävästi energiakustannuksia ja lisää moottoreiden ohjattavuutta. Taajuusmuuttaja nimensä mukaisesti muuttaa sähköverkosta otettavan taajuuden ja ohjaa uudella taajuudella moottorin kierrosnopeuksia ja momenttia vaikuttaen sähkön eli tehonkulutukseen. Alla olevassa kuvassa on havainnollistettu taajuusmuuttajan rakennetta lohkokaavioesityksen muodossa (kuva 10).



Kuva 9. Taajuusmuuttajan rakenne lohkokaaviona. [21, s.17.]

Taajuusmuuttajilla voidaan säätää analogisesti moottoreiden nopeuksia jopa sähköverkon nimellisen taajuuden sekä moottorin nimellisen nopeuden ylitse. Tällöin toki siirrytään vakiovoalueelta kentänheikennyksen puolelle, mikä tarkoittaa käytännössä moottorin akselin tuottaman vääntömomentin heikentymistä taajuuden eli moottorin pyörimisnopeuden suhteen. Tässä on huomioitava se, että moottorin akseliin kiinnitetyn tuulettimen jäähdytysteho laskee alhaisilla kierrosnopeuksilla, ja siksi esimerkiksi Azipodeissa on erikseen olemassa ilmanvaihtokoneet. Asian havainnollistamiseksi tutustutaan alla olevaan momenttikäyrään. (kuva 11)



Kuva 11. Oikosulkumootorin momenttikäyrästä huomaamme, että  $T_{max}$  (Maksimimomentti) pienenee kentänheikennysalueella, eli kun taajuus on yli 50 Hz. Vakiovuoalueella moottori synnyttää vakiomomentin nimelliseen taajuuteen asti. [22, s.11.]

Tilaajan toiveesta työssä käytetään kahta ohjainkorttia ja näillä halutaan ohjata paapuurin ja styrypuurin puoleisia propulsiokortteja. [23.]

## 2.5 Emulaattori (käytön simulointi)

Työssä käytetään pienitehoisten sähkömoottoreiden ja taajuusmuuttajien sijasta kooltaan pienempiä ja myös edullisempia BCON/FCON ACS880-taajuusmuuttajan emulaattorikortteja. Emulaattorikorteilla simuloidaan oikean sähkömoottorin käyttäytymistä. [4.]

## 2.6 Kytkimet ja Häätä-Seis

Käytön virtapiirin katkomiseen käytetään NO (Normally Open) -koskettimilla varustettuja digitaalisen lähtökortin D820-relelähtöjä. Sähkön (230 VAC) syötön katkomiseen käyte-

tään teollisuuskäyttöön soveltuvia sekä 16 ampeerin johdonsuojakatkaisijoita että nokkakytkimiä. Katkaisijoilla varmistetaan järjestelmän sähkönsyötön nopea poiskytkentä ylikuormitus- tai oikosulkutilanteissa.

Hätä-seis (230 VAC ja 24 VDC) -piirien syötön katkaisuun käytetään tyypillisiä hätä-seis-painikkeita varustettuna NC-koskettimilla. Koskettimet ovat siis normaalitilanteessa kiinni, eli piiri on jännitteinen. Turvalaitteille tämä on hyvin ominaista, koska virtapiirin katketessa turvalaite toimii joka tapauksessa, oli kyse sitten normaalista hätä-seis toiminnosta tai kaapelin katkeamisen seurauksena.

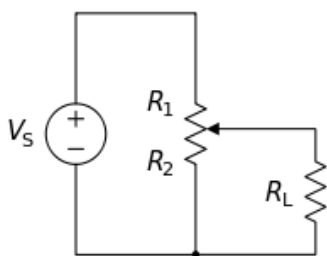
## 2.7 Sähkökahvat

Projektissa käytettävät Kwant Controlssin sähköiset kahvat näkyvät alla (kuva 12). Sillan ja ECR:n kahvat asennetaan ensimmäiseen ohjauspöytään molemmin puolin (PORT & STBD). Sillan kahvaksi tulee 2-vipuinen BUK-H kahva ja ECR:ään 2 kpl Azimuth-kahvoja. [4]



Kuva 12. Vasemmalla BUK-H sähköinen kahva on varustettu kahdella erillisellä kahvalla, joilla on tarkoitus mallintaa laivan komentosillan paapuurin ja styyrpuurin puoleisia kahvoja. Oikealla on ECR:n paapuurin ja styyrpuurin puolelle asennettava Azimuth-kahva.

Kahvoihin on mahdollista saada useita optioita eli lisävarusteita. Esimerkiksi servomootori, seuraa Master-kahvan oloarvoa pitäen ohjaukahvat samassa asennossa eri ohjauspaikoilla. Kahvoihin on sisäänrakennettu säätövastus, jonka toimintaperiaate on selostettu alla. (kuva 13).



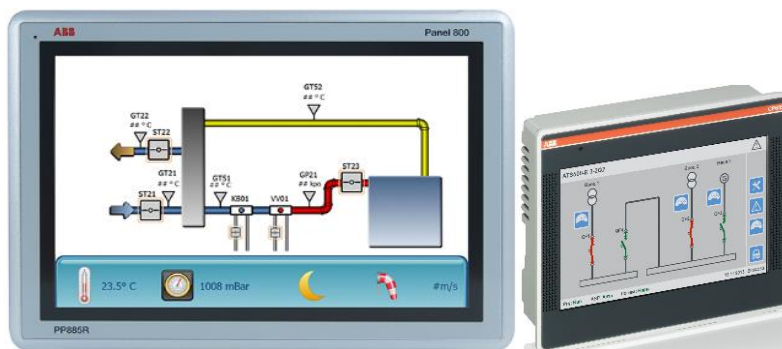
Kuva 13. Säätväustus eli potentiometri. Kuvassa potentiometrin piirikaavio, jossa tasasähkövirta kulkee vastuksien  $R_1$  ja  $R_2$  sekä  $R_L$ :n lävitse kohti jännitelähteen miinusnapaa.

Säätväustus toimii siten, että nuppia kääntämällä (kuvassa  $R_1$  ja  $R_2$ ) voidaan lisätä tai vähentää resistanssia ( $R_L$ ), eli sähkövirtaa vastustavaa suuretta jännitelähteen napojen välillä. Virtapiirin muuttuva resistanssikomponentti säättää vastuksien läpi kulkevaa virtaa portaattomasti. Vastus  $R_L$  kytketään toisesta päästä R/I-muuntimen kautta analogisen tulokortin kanavaan, josta virtaviesti jatkaa matkaansa kontrollerille. Virtaviestin (0 – 20 mA) avulla lasketaan käytölle lähetettävä RPM-referenssisignaali. Kahvan asento -150 rpm:stä +150 rpm:ään skaalataan 0 – 20 mA:n virtaviestiksi. Virtaviestin ollessa 10 mA on propulsioon rpm referenssiarvo tuolloin 0 rpm. Vastaavasti 20 mA:n virtaviesti tarkoittaa +150 rpm:n ohjaukskäskyä.

## 2.8 HMI

Pöytien käyttöliittymänä toimii PP858R- ja CP635-kosketusnäytölliset paneelit (kuva 14) ja järjestelmän hälytystietoja näytetään PP858R:n lisäksi myös CP635-paneelilla. PP858R-paneeleihin rakennetaan testilaitteiston indikaatio ja tärkeimmät propulsio-ohjauksfunktiot linkitetään näytöllä oleviin objekteihin. Paneelilta pitää pystyä ohjata propulsiota ja seurata reaaliajassa prosessin tilaa. Ohjelmassa käytettävät muuttujat ovat globaaleja, jotta niitä voidaan vapaasti käyttää järjestelmän sisällä.





Kuva 10. Projektissa käytettävät PP858R- ja CP635-kosketusnäyttölliset paneelit.

Lisäksi pöytien yläosan keskelle aivan paneelien väliin tulee molempien propulsioyksiköiden analogiset mittarit. Mittareilla indikoidaan propulsioyksikön todellista tehoa, RPM-referenssiä ja todellista RPM-arvoa. [2;3;4.]

## 2.9 Ohjelmat

Työssä käytetään kontrollerin ohjelmointiin Compact Control Builderia ja käyttöliittymän luomiseen Panel 800 Builderia. Ohjauspiirikuvi varten AutoCAD 2017- ja 2018-ohjelmistoa. Hardware komponenttiluettelot saadaan tehtyä Microsoftin Excel-taulukkolaskentaohjelmalla.

## 3 Työn suunnittelu ja projektissa huomioituja asioita

Tilaaajan toiveet ja aikataulussa pysyminen oli otettava huomioon suunnittelu- ja toteutusvaiheessa. Työlle varattu aika oli asetettu maaliskuun 2017 alusta elokuun loppuun, joten aikaa oli varattu paljon. Asiakkaan toiveita oli mm. budjetissa pysyminen, perusteellinen dokumentointi, ohjauspaikkojen ja tehonrajoituksen toimivuus sekä prosessisuureiden selkeä indikaatio HMI-päätteillä ja ohjaus pöydillä.

### 3.1 Dokumentointi

Työssä panostettiin työn vaiheiden dokumentointiin ja erityisen suuri painoarvo oli hardware-määrittelyssä, ohjaus piirikaavioiden ja layout-kuvien dokumentoinnissa sekä työselostuksessa. Mallia otettiin vanhoista projekteista ja ohjauspiiri-, ja layoutkuvia piirrettiin AutoCadilla ja SolidWorksilla ja muilla vastaavilla ohjelmilla, kuten Smartdraw, draw.io yms. Hardwaren määrittelys pitkälti eteni Microsoftin Excel-työpöytäohjelmaa käyttäen.

### 3.2 I/O:t

Input- ja Output-pisteiden tarkka lukumäärä oli selvitettävä mahdollisimman tarkasti ennen I/O-moduulien tilaamista. Valmiin projektin dokumentointia hyväksikäyttäen selvitettiin, mitä kaikkea laivan propulsiion ohjaukseen liittyviä mittauspisteitä ja ohjausviestejä liikkuu kontrollereiden, sensorien, kytkinten, HMI:n ja toimilaitteiden välillä. Työn ohjaajien kanssa valittiin propulsiojärjestelmän testauksen kannalta oleelliset I/O-pisteet ja niistä karsittiin ylimääräiset pois.

### 3.3 Rajapinnat ja tiedonsiirto

Tiedonsiirto tapahtuu pääasiassa Ethernet-, Modbus TCP- ja Profibus-väyläteknikkaa hyväksikäyttäen. Prosessin toimi- ja mittasuureet johdotettiin suoraan I/O-riviliittimille. Varaus CAN-väylälle on myös AC500-kontrollerilla. Ylemmän tason laiva-automaatiorajapintaa eli IAS/MAS-tasoa työssä ei määritelty.

### 3.4 Indikaatio

Pöytiin haluttiin merkkilampuilla varustetut ohjauspaneelit sekä analogiset kierrosluku- ja tehomittarit. Indikaatioissa käytetään propulsio-ohjaustoiminnoille ominaista värikoodia. Esimerkiksi käytön käynnistäminen indikoidaan palavalla vihreällä valolla ja käytön pysäyttäminen punaisella.

### 3.5 Budjetti

Huoli budjetissa pysymisestä oli heti alusta pitäen. Vaikka tiedossa ei ollut tarkkoja euronmääriä, niin tavoitteena oli kierrättää vanhoja osia niin paljon kuin mahdollista ja järkevää.

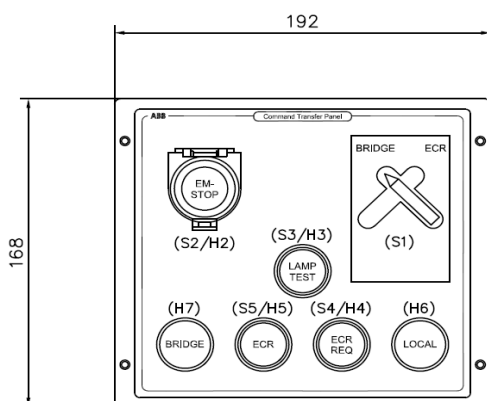
Useita tuotenimikettä oli ennalta määritelty projektia varten, sillä haluttiin käyttää hyväksi todettuja komponentteja. Projektipalaverien yhteydessä keskusteltiin mahdollisuudesta kierrättää vanhoja jo olemassa olevia laitteita. Pian palaverin jälkeen varastosta löytyi ylimääräisiä tarkoitukseen sopivia Azimuth-kahvoja, mitkä haluttiin ECR:n kahvoiksi.

### 3.6 Ohjauspöydät ja paneelien layout

Projektiin haluttiin tilaajan toiveesta 10 ohjauspaikkaa (RCS & LBU). RCS-ohjauspaikoista kaksi sijaitsee komentosillan paapuuriin ja stuurpuuriin puolella sekä kaksi ECR:ssä. Hätäohjauspaikkoja (LBU) tulee 6, jotka sijoitetaan sillalle, ECR:ään ja propulsio-huoneeseen. Fyysisesti nämä paneelit sijoitetaan pyörillä kulkeville asennuspöydille, jotta niitä on helppo kuljettaa paikasta toiseen näytille. Ohjauspöytien tilauksessa on huomioitava se, että kaikkien laitteiden on mahdollista sinne ja jatkoa ajatellen jätettiin karkeasti 20 % vapaata tilaa lisälaitteita varten. [1;2;3;4.]

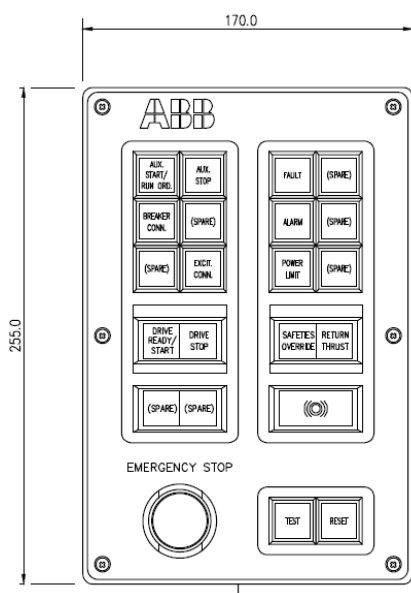
Kaiken kaikkiaan molempiin pöytiin tulee yhteensä 6 metriä DIN-kiskoa usealle eri tasolle. Pöydän syvyyden haluttiin olevan maksimissaan 79 senttimetriä ja korkeudeltaan alle 200 cm, jotta se myös mahtuisi kulkemaan kapeista ovista. Sisään asennettavat moduulit vaativat korkeussuunnassa tilaa sen verran, että DIN kiskojen väli tulisi olla vähintään 261 mm kiskojen keskipisteestä laskien.

Projektiin mallinnettiin mahdollisimman yhdenmukainen layout valmiiden projektien suhteen, jotta tämä vastaisi todellista propulsio-ohjausjärjestelmää. Huomioitavaa on, että common-paneelit jäivät pois, muuten projektin ohjauspaneelit ovat samat kuin laivoilla. Pöytiin tuli merkittävä määrä pintaan asennettuja laitteita, kuten 4 propulsio-ohjauspaneelia, 6 hätä-ohjauspaneelia, 2 komentopaikanvaihtopaneelia, 2 simulointipaneelia, 3 sähkökahvaa, 4 kosketusnäyttöä ja 12 analogista mittaria.



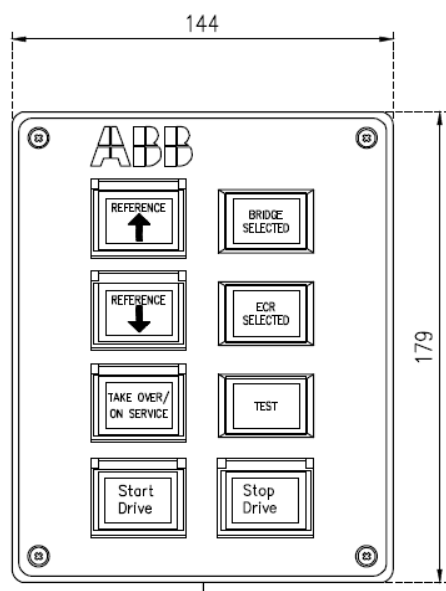
Kuva 11. Komentopaikan vaihtopaneeli, CTP=Command Transfer Panel.

Komentopaikan vaihdokseen sillan ja ECR:n välillä käytetään yllä olevan kuvan (kuva 15) mukaista kiertokytkintä (S1). Operaattori myös näkee merkkilamppujen avulla sen, mistä paikasta laivaa ohjataan. Fyysisesti tämä paneeli sijaitsee ECR:ssä eli pöydässä 1.



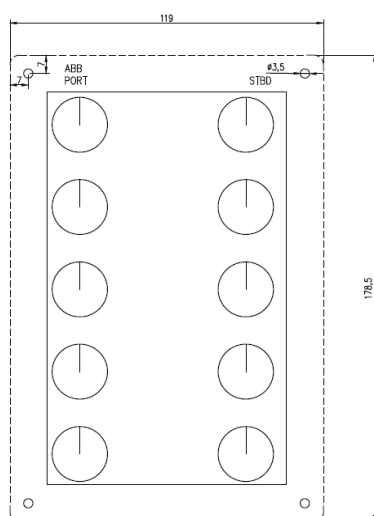
Kuva 12. Propulsio-ohjauspaneeli, PCP=Propulsion Control Panel.

Laivan propulsio-ohjauspaneelilla yläpuolella (kuva 16) on paljon erilaisia funktiopainikkeitä ja lampuja, joilla mm. voidaan käynnistää ja pysäyttää propulsioyksiköt ja yksiköiden apulaitteet. Paneelit löytyvät sillalta ja ECR:stä molemmin puolin.



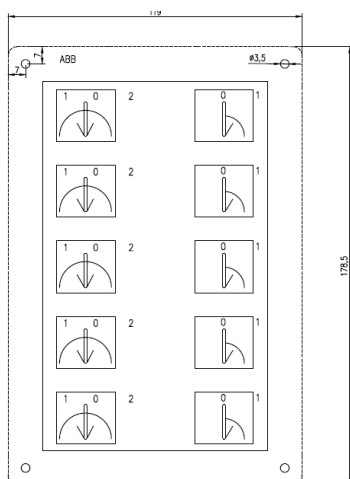
Kuva 13. Häätä-ohjauspaneeli, LBU=Local Backup Unit.

Hätä-ohjauspaikan paneeli kuvassa yllä (kuva 17). Paneelille on sijoitettu propulsioyksiköiden kannalta vain tärkeimmät funktiopainikkeet. Paneelilta käsin voidaan mm. ottaa komento, ohjata rpm-referenssiä painonapein sekä käynnistää tai pysäyttää propulsioyksikkö. Paneelit sijaitsevat sillalla, ECR:ssä ja Azipod-huoneessa molemmin puolin.



Kuva 14. Analoginen tulo simulointipaneeli, AIP=Analog Input Panel.

Yllä olevassa kuvassa (kuva 18) pöydän 2 säätövastuksista koostuva paneeli, jolla simuloidaan propulsiomootoreiden käämityksen ja syöttömuuntajan lämpötilavaihtelua. Lämpötilan ollessa liian korkea propulsiyksikköä syöttävä katkaisija aukeaa ja käyttö (taajuusmuuttaja ja propulsiosähkömoottori) niin sanotusti ”trippaa”, eli putoaa pois sähköverkosta.



Kuva 15. Vikasimulaattoripaneeli, FSP=Fault Simulator Panel.

FSP:llä katkaistaan vaihtokytkinten avulla paneeleilta (kuva 19) ja kahvoilta 24 VDC:n syöttöjä sekä luodaan mm. hätä-seis piirien (K1 & K1.1) oikosulkuja. Paneelin avulla voidaan testata, miten järjestelmä reagoi kun aktiiviselta ohjauspaikalta häviää sähkö. Tästä pitäisi seurata kuultava äänimerkki ja silmin nähtävä hälytysindikointi paneeleilla Sillalla, ECR:ssä ja moottorihuoneessa. Lisäksi aktiivinen komentopaikka automaattisesti tarjotaan muille ohjauspaikoille.

#### 4 Työn toteutus

Työn toteutus lähti ensimmäisten palavereiden saattamana käyntiin. Palavereissa keskusteltiin projektin agendasta, suunnitelmista, toteutuksesta ja saatavilla olevista resursseista. Ensimmäiset palaverit ajoittuivat maaliskuun 2017 alkuun ja näitä keskusteluja

käytiin pitkälle kevääseen. Työ alkoi hardwaremäärittämisestä ja lähdettiin liikkeelle topologian ja osaluettelon luonnostelusta. Tästä vaiheesta kerrotaan lisää seuraavassa luvussa 4.1.

Kesällä oli kommunikoinnin osalta hiljaisempi vaihe ja fokus oli kuvien piirtämisessä, sillä kuvat olivat välttämättömiä suunniteltuja ohjaus-pöytien urakointia varten. Tuolloin kommunikointiin lähinnä pitämällä työn tilaajan ajan tasalla. Elokuussa kuvat viimeisteltiin siihen kuntoon, että niillä saattoi lähettää tarjouspyynnön pöytien urakoitsijalle. Kuvien valmistumisen jälkeen piti keskittää ajatukset propulsio-ohjelmiston ohjelmointia varten, koska työn rajaukseen kuului rakentaa propulsioympäristö testilaitteistolle. Muutaman viikon vaikeuksien ja ohjelmointiasiantuntijoiden kanssa käytyjen keskustelujen jälkeen ohjelmointityö tuli liian raskaaksi ja vaikeaksi suhteessa kokemukseen sekä aikatauluun nähden. Tästä johtuen työtä rajattiin merkittävästi pienemmäksi kokonaisuudeksi. Työn rajauskeskustelun yhteydessä tilaaja kuitenkin toivoi työtä varten työselostuksen, joka toimisi samalla laitteiston käyttö-ohjeena.

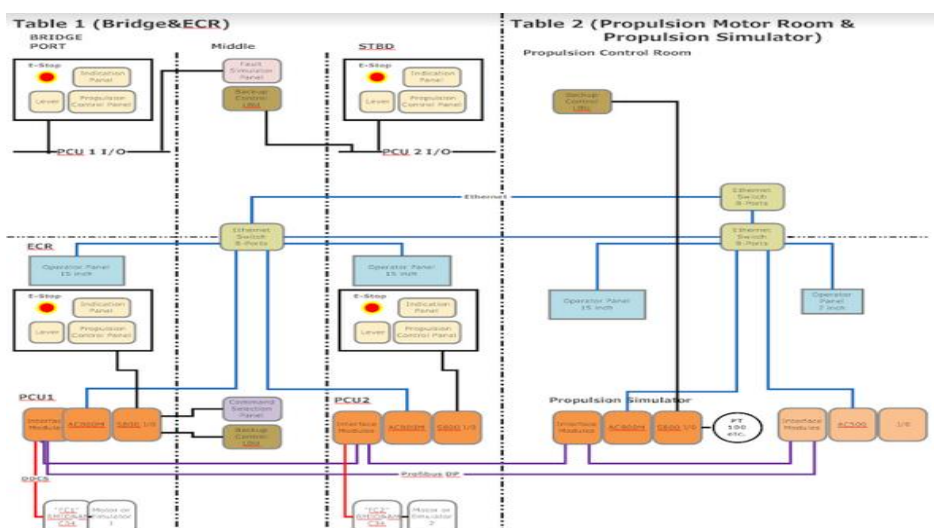
Työselostuksesta tuli varsin mittava, ja luonnosteluun kului paljon aikaa. Selostuksen raakaversio valmistui syyskuun puolivälin jälkeen. Tuolloin myös ohjauspöytien tilauksesta käytiin keskustelua ja pöytien urakoitsija oli jo selvillä. Tässä vaiheessa oli päivän selvää, ettei laitteiston käyttöönottoa enää kerkeä tehdä, sillä olihan työ jo niin paljon aikataulua jäljessä. Nimittäin pöytien toimitusajat vaihtelivat 8 - 10 viikkoon, ja Cad-kuvat olivat vielä keskeneräisiä. Työselostus palautettiin syyskuun lopussa ja viimeiset kaksi viikkoa menivät Autocad kuvien korjauksiin.

#### 4.1 Hardware-suunnittelu

Hardware-suunnittelua varten ABB:n henkilökunnan kanssa kartoitettiin vanhojen modernisointiprojektien dokumenttien avulla työssä tarvittavia laitteita- ja tarvikkeita. Tilattavista osista laadittiin alustavia Excel-taulukkopohjia, joita yhdessä tarkastelimme projektipalavereiden aikana. Prosessi ei ole ollut niin suoraviivainen, kuin voisi äkkiseltään kuvitella, sillä suunnitteluvaiheessa tuli muutoksia työn laajuuteen ja hieman toisistaan eriäviä näkemyksiä. Suurehkoissa projekteissa luonnollisesti myös huoli oli budjetissa pysyminen, ja ennen varsinaista tilausta teimme inventaarion mahdollisesti olemassa olevista laitteista, joita voisimme hyödyntää projektissa. Tulimme siihen lopputulokseen, että hyödynnämme vanhoja Azimuth-sähkökahvoja. [2;3;4;5.]

Hardware-suunnittelu lähti eteenpäin propulsiojärjestelmän topologiakuvan laatimisesta ja erilaisia versioita oli yhtään lioittelematta tusina. Luonnoksen avulla saimme paremman kokonaiskuvan projektista ja kuvasta oli helppo kartoittaa projektissa tarvittavia komponentteja. Topologiakuvan piirtämistä varten löytyi kätevä ja ilmainen piirustusohjelma nimeltä SmartDraw 2016, johon oli ladattavissa valtavat kirjastot erilaisia teknisiä piirrosmerkkejä yms.

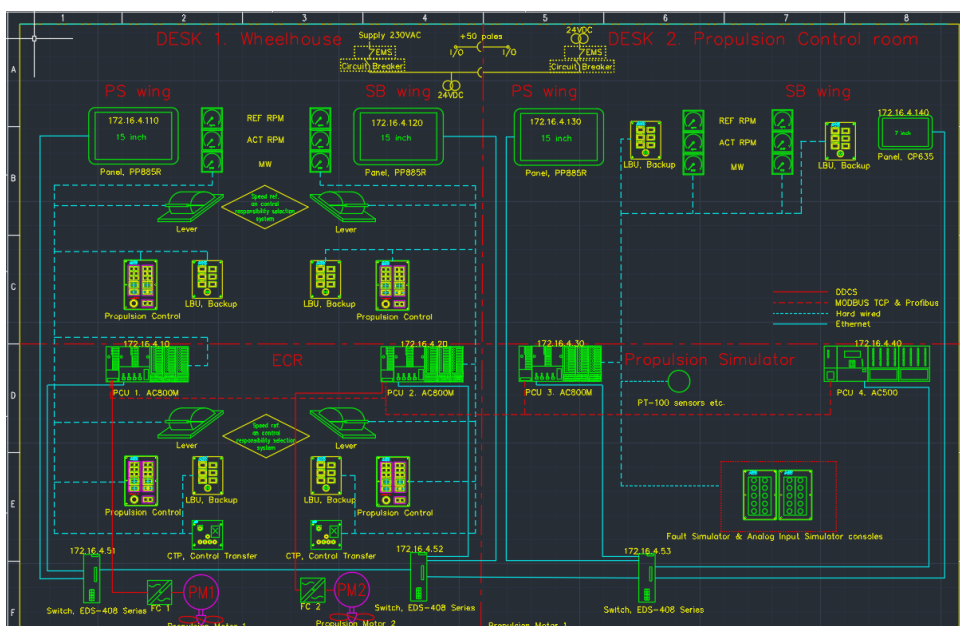
Ohjelma itsessään oli erittäin yksinkertainen käyttää, ja siksi sen käytön oppimiseen kului vain muutamia minutteja. Ohjelma sopi mainiosti topologian piirtämiseen, ja palveli tarkoitusta alkupään suunnitteluvaiheessa. SmartDraw-kuvista saatiin kelvollisen näköisiä, joita tarkasteltiin projektitapaamisten yhteydessä (kuva 20). Lopulta AutoCadilla luonnosteltiin propulsio-ohjausjärjestelmästä yksiviivakaavio, joka pohjautui SmartDraw'lla piirrettyyn kuvaan. [Liite 1.]



Kuva 16. SmartDraw 2016 -ohjelmalla piirretty kuva propulsiojärjestelmän topologiasta.

AutoCadilla piirretty yksiviivakaavio kuvassa alla (kuva 21). Viimeisimmässä versiossa näkyi laitteiden IP-osoitteet ja pöytien välinen kaapelointi. Kaaviossa käytettiin paljon valmiita symboleja, jotka otettiin oikeista laivaprojekteista. Osa symboleista oli itse tuotettua ja skaalattu sopivan kokoiseksi.

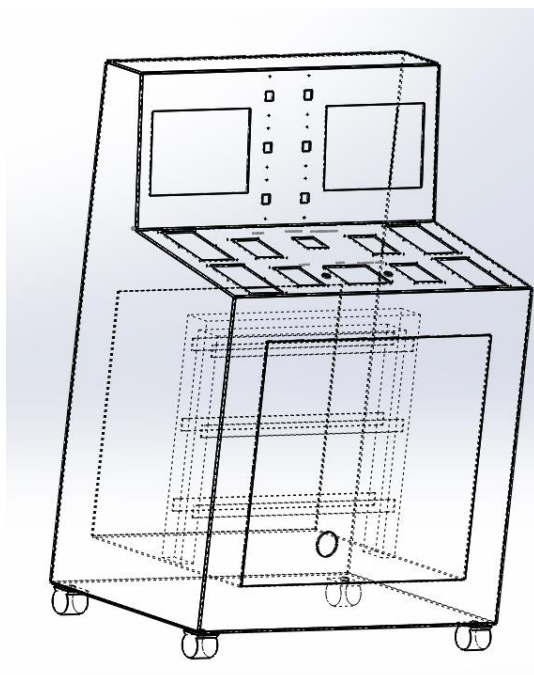




Kuva 17. AutoCadillä piirretty yksiviivakaavio.

Yksiviivaesityksestä näkee suurin piirtein työssä tarvittavan hardwaren määrän poisluokien releet, rajapintamoduulit ja virtalähteet. Kävimme kuvaa yhdessä lävitse projektipalaverien yhteydessä ja kuvaa paranneltiin vähän kerrallaan. [9;10.]

SolidWorksilla ja Autocadillä piirrettiin 3D-luonnoksia (kuva 22) ja mittakuvia, joiden pohjalta pyysimme tarjousta ohjauspöytien valmistamiseen ABB:lle tutulta urakoitsijalta. Lähetimme ensimmäisen tarjouspyynnön jo toukokuun puolella. Tässä vaiheessa myös tarvittavista osista oli jo laadittu osaluettelot sekä tärkeimmät pöytiin asennettavat komponentit tilattu.



Kuva 22. Solidworksilla laatimani luonnos ohjauspöydästä 1. Pöytien paneelien ja reikien layoutit piirrettiin lopulta AutoCadilla puhtaaksi ja layout muuttui hieman toisen näköiseksi. [Liite 2; Liite 3.]

Alustava tarjous saatiin pöydistä vajavaisesta kuvapaketista huolimatta, mutta kovin tarkkaa arviota pöytien hinnoista ei voinut odottaa ilman yksityiskohtaisia ohjauspiiriku-  
via. Tämä oli projektin yksi haasteellisimmista vaiheista, ja ajallisesti kuvien tekemiseen  
ja muokkaamiseen meni useita kuukausia toukokuusta lokakuuhun. Haasteellisinta oli  
hahmottaa propulsio-ohjauksen testiympäristön luomisen kannalta kaikkein olennaisim-  
mat signaalit, ja karsia ylimääräiset pois. Tämän ymmärtämiseen taustatyö oli välttämä-  
töntä ja ymmärtämisen apuna käytössä oli vanhojen laivaprojektien ohjauspiirikaavio-  
pohjia. Kuvien piirtäminen oli aikaa vievää työtä sillä Cad-kuvia muodostui kaikkiaan 97  
kpl ja mittavia korjauksia tuli useaan kertaan. [Liite 4.]

Kesäkuun 2017 lopulla raakaversiot vietiin pikaisesti näytille ja korjattavaksi, koska pöy-  
tien tilaus haluttiin saada nopeasti liikkeelle. Pöytien tilaus jäi tässä kohtaa tekemättä  
kuvien ollessa liian keskeneräisiä.

ABB:n työntekijöiden kesälomat alkoivat kesä-heinäkuun vaiheessa, ja tarjouspyyntöjen  
lähettäminen oli käytännössä kuukauden verran paikallaan. Sinä aikana toki oli hyvää  
aikaa tehdä ja viimeistellä ohjauspiiri- ja layout-kuvia. Urakka oli valmis elokuun puolivä-  
lissä, ja arviot kuvien valmistumisen suhteen olivat alkujaan olleet turhan optimistisia.

Tarjouspyyntövaiheen kuvien valmistuttua lähetimme uuden tarjouspyynnön eteenpäin ja emme kauan vanhenneet tarjousta odotellessamme. Saimme tarjouksen pöytien urakoinnista ja meillä oli nyt olemassa hinnat. Pöytien tilausta varten tarvittiin vielä yksityiskohtaisempia kuvia, joita työstettiin syyskuusta lokakuuhun työselostuksen ohella.

#### 4.2 Hardwaren integrointi ja kytkennät

Pöytien urakoitsija asentaa laitteet ja tekee kytkennät piirrettyjen kuvien perusteella. Pöytien tarjous pitää sisällään asennus- ja kytkentätyöt.

#### 4.3 Ohjelmistosuunnittelu

Ohjelmistosuunnittelun helpottamiseksi ABB:n tarjosi propulsio-ohjauksen softwaresta valmiin yleisesti käytetyn ja toimivan vakiopohjan. Propulsio-ohjauksen ohjelmiston integrointi kyseiseen laitteistoon ja testaus käyttötarkoitukseen sopivaksi oli lopulta liian iso pala purtavaksi. Integroimisprosessista tiedusteltiin useilta software-asiantuntijoilta ammatillista mielipidettä, ja kaikki olivat samaa mieltä siitä, että työ vaatisi useita kuuksia aikaa kokeneeltakin tekijältä.

Integrointia kuitenkin lähdettiin yrittämään, ja muutaman päivän jälkeen alkoi näyttämään juuri siltä, mitä asiantuntijatkin sanoivat.

Komentopaikan vaihtofunktion ja propulsio-ohjauksen käynnistys/pysäytys sekvenssi saatiin tehtyä FBD-logiikkaohjelmointikielellä, mutta hanke jäi keskeneräiseksi ja ohjelmaa ei kehtetty testaamaan oikeassa ympäristössä eli kontrollerilla ja I/O-moduuleilla.

Helputukseksi elokuussa 2017 työtä rajattiin sen verran, että propulsio-ohjelmiston integrointi jäi insinööriyöalueen ulkopuolelle.

#### 4.4 Työselostus

Projektin loppuvaiheessa aika kului työselostuksen kirjoittamisessa ja ulkoasun muokkaamisessa. Projektia varten haluttiin oma asianmukainen työselostus, jossa on selkeät käyttöohjeet ja yleismaallinen kuvaus järjestelmän toiminnasta ja käyttötarkoituksesta. Tarkoituksena ei ollut kirjoittaa liian yksityiskohtaisia ohjeita, vaan oletuksena laitteen

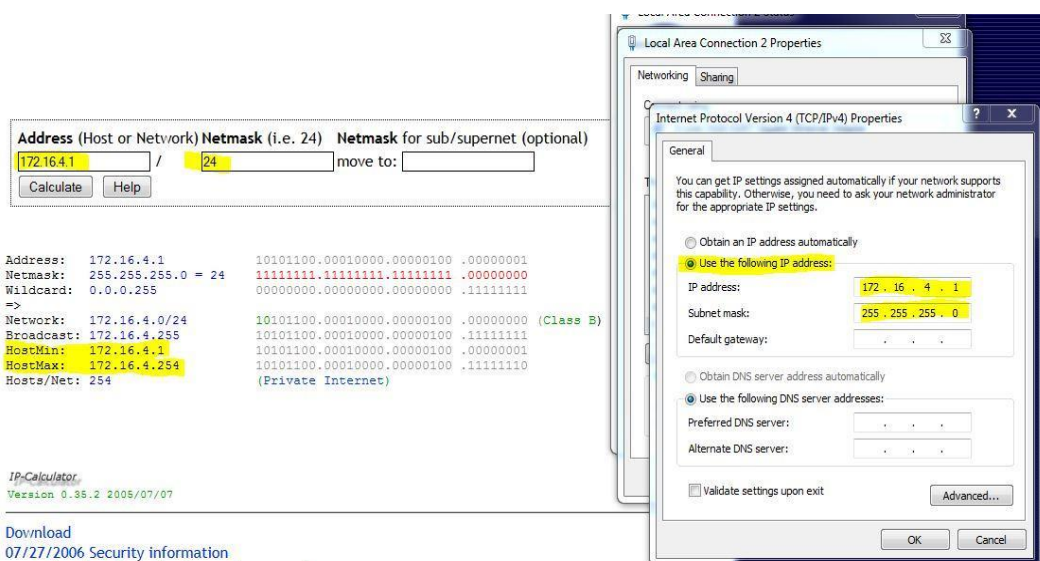
kohderyhmää ajatellen hieman suoraviivaisempi lähestymistapa. Testilaitteiston kohderyhmä oli siis ABB:n laivateollisuuden modernisointi yksikön toimihenkilöt ja oletusarvona on, että he osaavat operoida RCS-järjestelmiä.

#### 4.5 Vastaan tulleet haasteet, ongelmakohdat ja ratkaisut

### Kontrollerin ja I/O-moduulien käyttöönotto ja IP:n määrittäminen

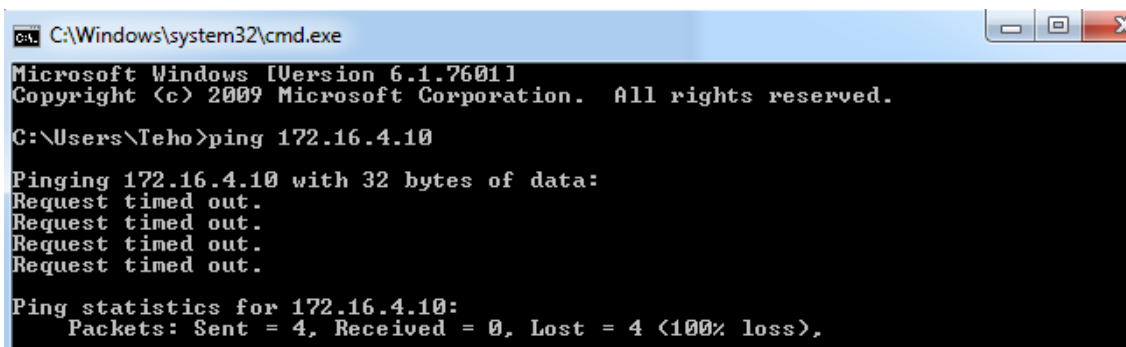
Projektin alkutaipaleella annettiin projektiin aloittamista varten lainaksi PM861A-kontrolleri, Compact Control Builder ja siihen mukaan DI840- ja AI810-moduulit TU830-pohjalevyjen kera.

Ensimmäinen ongelmakohta tuli eteen heti kättelyssä AC800M-kontrollerin käyttöönoton yhteydessä kun yhteyden muodostaminen "pingaamalla" ei onnistunut. Tämä nimeltä mainitseminen tekniikan ihmelapsi ei ymmärtänyt määrittää PC:n verkkokortille uutta default gateway IP-osoitetta, jonka aliverkon alueelle kävisi kontrollerin oma kiinteä IP-osoite. Logiikalle oli jo etukäteen annettu staattinen IP-osoite 172.16.4.10 ja PC:n uusi IP-osoite piti olla täten 172.16.4.1 ja verkon maskiksi tuli 24 bittiä (255.255.255.0). Aliverkon laskemiseen käytettiin siihen tarkoitettua ohjelmaa, joka löytyi internetistä (kuva 23). Yhteyden muodostamiseen tarvittava kaapeli oli ristiinkytketty ethernet RJ-45-kaapeli ja se oli kytketty tietokoneen verkkokortin ja kontrollerin CN 1 -kanavan välille.



Kuva 23. Internetistä löydetty IP-laskin vasemmalla ja IPv4-osoitteen muuttaminen oikealla tietokoneen ohjauspaneelin kautta. Kuvasta vasemmalta nähdään aliverkon IP-avaruus (HostMin)172.16.4.1 ja (HostMax)172.16.4.254 välillä.

Ethernetyhteyden testaaminen eli "pingaus" tapahtui alla olevan kuvan (kuva 24) mukaisesti cmd.exe-ohjelman kautta. Tämä työkalu löytyy jokaisesta tietokoneesta, ja yhteyden testaamiseen tarvitsee vain komennon "ping" ja datapakettin vastaanottajan IP-osoitteen.



```
C:\Windows\system32\cmd.exe
Microsoft Windows [Version 6.1.7601]
Copyright (c) 2009 Microsoft Corporation. All rights reserved.

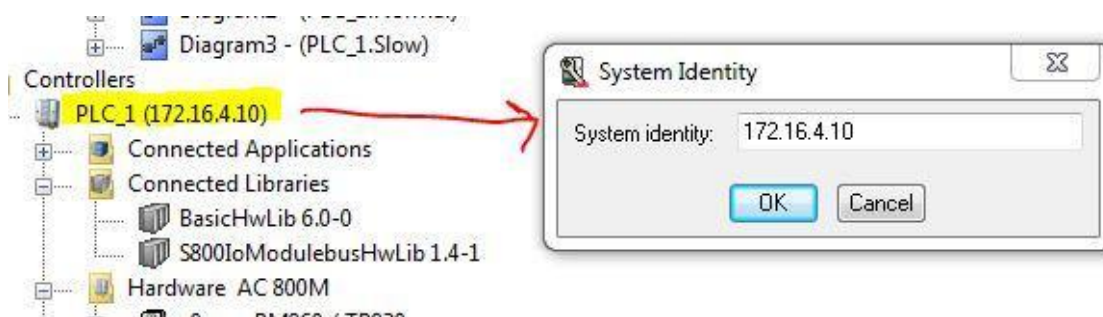
C:\Users\Teho>ping 172.16.4.10

Pinging 172.16.4.10 with 32 bytes of data:
Request timed out.
Request timed out.
Request timed out.
Request timed out.

Ping statistics for 172.16.4.10:
    Packets: Sent = 4, Received = 0, Lost = 4 (100% loss),
```

Kuva 24. Epäonnistunut yhteyden testaaminen cmd.exe:n avulla. Kuva otettu ennen PC:n oman IP-osoitteen muutosta.

Epäonnistuneen yhteyden muodostamisen jälkeen kokeiltiin Compact Control Builderissä muuttaa kontrollerin IP-osoitetta klikkaamalla hiiren oikeaa näppäintä PLC\_1:n päällä ja valita pudotusvalikoista System Identity (kuva 25).



Kuva 25. Kontrollerin IP:n vaihto.

Tämän lisäksi asetettiin vielä Hardware-välilehdeltä Ethernet 1-portin IP-osoitteen oikeaksi, jonka jälkeen yhteyden testaus onnistui (kuva 26).

```

Ping statistics for 172.16.4.10:
    Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),
C:\Users\user>

```

Kuva 26. Pingaus onnistui viimein IP-asetuksia muuttamalla.

Seuraava haaste oli määrittää kontrollerissa kiinni oleva hardware ja luoda hyvin yksinkertainen SR(Set/Reset)-kiikkuun perustuva logiikkaohjelma, jolla voitaisiin testata lainnassa olevien tulokorttien toiminta ja siinä samalla tutustua Compact Control Builder ohjelmointi ympäristöön. Heti alkajaisiksi tehtiin hyvin tyypilliseen logiikkaohjelmoinnin tapaan hardwaren määrityksen, prosessin muuttujien määrittämisen ja lopuksi linkitettiin muuttujat Input-moduulin DI840-tulokanaviin (kuva 27).

The screenshot shows two windows from the Compact Control Builder software. The left window, titled 'Diagram - Application\_1Diagram2', displays a table of variables. The right window, titled 'Hardware - PLC\_1.0.11.1 DI840', displays a table of hardware modules.

Name	Data Type	Attributes	Initial Value	IO Address	Access Variables	Description
1 ovi_kiinni	bool	retain	00	PLC_1.0.11		
2 ovi_auki	bool	retain	0	PLC_1.0.11		
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						

Channel	Name	Type	Variable	I/O Description
IX0.11.1.1	Input 1	BoolIO	Application_1_Diagram2.ovi_kiinni	
IX0.11.1.2	Input 2	BoolIO	Application_1_Diagram2.ovi_auki	
IX0.11.1.3	Input 3	BoolIO		
IX0.11.1.4	Input 4	BoolIO		
IX0.11.1.5	Input 5	BoolIO		
IX0.11.1.6	Input 6	BoolIO		
IX0.11.1.7	Input 7	BoolIO		
IX0.11.1.8	Input 8	BoolIO		
IX0.11.1.9	Input 9	BoolIO		
IX0.11.1.10	Input 10	BoolIO		
IX0.11.1.11	Input 11	BoolIO		
IX0.11.1.12	Input 12	BoolIO		
IX0.11.1.13	Input 13	BoolIO		
IX0.11.1.14	Input 14	BoolIO		
IX0.11.1.15	Input 15	BoolIO		
IX0.11.1.16	Input 16	BoolIO		
IWO.11.1.17	All Inputs	DwordIO		
IWO.11.1.18	Channel status	DwordIO		
IWO.11.1.19	UnitStatus	HwStatus		

Kuva 27. Fyysisten I/O-pisteiden linkitys prosessimuuttujiin.

Kun muuttujat oli linkitetty tulokortille DI840, niin ohjelman ladattiin kontrollerin muistiin säästymättä virheilmoituksilta. Meni pitkä tovi huomata, että kontrollerin CPU-yksikön mallia ei määritelty HW-konfiguraatiossa 860 sijaan 861. Pitkän tutkiskelun jälkeen ihmeteltiin miksei kontrolleri muodosta yhteyttä DI840-moduulin kanssa ja syyksi paljastui se, että TU830-pohjalevy ei ole yhteensopiva DI840-moduulin kanssa.

## **Propulsio-ohjelman ohjelmointi**

Ehdottomasti haasteellisin vaihe työssäni oli yritys integroida valmis propulsio-ohjelmisto omaan projektiin sopivaksi. Lähtökohdat olivat heti alkujaan vastaan, koska ohjelmointitausta oli kevyttä eikä nimeksikään kokemusta ST (Structured Text) -ohjelmoinnista. Lisäksi tukea ei voinut pyytää software-tekijöiltä, sillä heillä oli kovin kiireinen aikataulu laivojen käyttöönottokehityksessä eikä aikaa ollut tuhlattavaksi. Käyttöön luovutettiin vanhoja ja toimivia propulsio-ohjauksen ohjelmistoja, mutta näistäkään ei ollut paljon apua. Vastaanotetut valmiit ohjelma-projektit olivat äärimmäisen raskaita lähteä pureskelemaan ja omaksumaan ilman ammattilaisten tukea. Projekteissa oli valtavasti muuttujia, funktioita, pää- ja aliohjelmia ja signaalien avaruus ylipäätään oli äärimmäisen vaikeasti hahmoteltavissa. Aliohjelmia oli vähintään satoja muuttujista puhumattakaan. Näin suuresta kokonaisuudesta oli erittäin vaikea kaivaa oikeita elementtejä, joita olisin tarvinnut omaa propulsio-ohjausjärjestelmää varten.

## **Ohjauspiirikaavioiden piirtäminen**

Ohjauspiirikaavioita piirtäessä ja I/O-pisteiden laskentaa varten oli vaikea ymmärtää ja hahmottaa, minkälaisia signaaleja järjestelmässä liikkuu ja minkä järjestelmän välillä, erityisesti PCU:n ja käytön välillä. Apua sain valmiiden laivaprojektien dokumenteista ja opiskelemalla lisää aiheesta. Sain myös olla kesän töissä sillan RCS-järjestelmän testauksessa ja käyttöönotoissa tehtaalla ja laivoilla, mikä auttoi minua hahmottamaan kokonaisuuden paremmin, ja tämä omalta osin helpotti kuvien piirtämistä.

## **5 Loppupäätelmät**

Päällimmäiset tunteukseni on, että onnistuin insinöörityössäni kohtalaisen hyvin monelta osin. Käytin työtä varten todella paljon vapaa-aikaani sillä vein projektia eteenpäin erittäin kiireisinäkin aikoina päivisin ja viikonloppuisin työkeikkojen ohella.

Dokumentoinnin suhteen meni hyvin, koska sain tehtyä suuren määrän erilaisia teknisiä piirustuksia ja ohjauspiirikuvia, mikä jo itsessään on kelpo suoritus. Hardwaren määrittely alussa oli erittäin haasteellista ja sekavaa, sillä minulla ei ollut lainkaan kokemusta saati

ymmärrystä propulsiotekniikasta ja RCS-laitteistosta. Aika ajoin tuntui siltä kuin Hardwaren määritys polki paikallaan, kun palaverien yhteydessä oli vaikea päästä yhteisymmärrykseen käytettävästä laitteistosta ja erilaisia näkemyksiä oli puolin ja poikin. Palaverissa ei kiireistä johtuen aina ollut sama kokoonpano, jolloin muutosehdotukset ja sovitut asiat eivät aina kantautuneet kaikkien osapuolten kuultavaksi. Hardwaren määritys meni projektipalaverien myötä eteenpäin, ja alustava HW-tilauslista valmistui parissa kuukaudessa huhtikuun puolella.

Jäi sellainen tunne, että tukea olisin tarvinnut propulsio-ohjelman integroimiseen, mutta helpotukseksi tämä osuus rajattiin lopulta työn laajuudesta pois. Aikataulullisesti projekti oli tiukka, sillä kuvien piirtämiseen ja hardware-määritykseen meni yllättävän paljon aikaa, ja tämä tuli minulle suurena yllätyksenä. Lisäksi ohjelmoinnin parissa kului myös viikkoja, mikä oli pois kuvien piirtämisestä ja viimeistelystä. Ohjelmointioppi ei toki mennyt hukkaan, ja sain myös tärkeän opetuksen projektinhoidossa. Jatkossa ymmärrän varata suunnitteluun enemmän aikaa, varsinkin jos liikutaan hiemankin vieraalla alueella. Suunnitelmat elävät jatkuvasti, eikä usein kaikkea osaa ottaa alussa huomioon.

Asetin itselleni kovat tavoitteet ennen työn aloittamista ja uskoin alkutaipaleella selviytväni hyvin ohjelmointiosuudesta. Toisin siinä sitten kävi, mutta näin jälkikäteen se ei tunnu kovin suurelta pettymykseltä, sillä asiantuntijatkin olivat sitä mieltä että integroimisessa on monen kuukauden tai jopa vuoden työ jo itsessään. Uskon, että olisin voinut saada aikaan paljon enemmän, jos projektille varattu aika ei olisi tullut vastaan ja software-asiantuntijoilla olisi ollut aikaa neuvoa minua propulsio-softwaren kanssa.

Projektin aikana olen kohdannut monia haasteita ja monet haasteet olen pystynyt ratkomaan itsenäisesti ja tarvittaessa myös uskaltanut kysyä alan asiantuntijoilta mielipiteitä kohtaamiini ongelmakohtiin. Huomasin projektin aikana, että monet yksinkertaiselta näyttävät asiat eivät ole itsestäänselvyksiä vaan monesti piti useaan kertaan ajatuksen kanssa käydä asioita läpi. Tästä esimerkkinä hätä-seiskeytkimen koskettimien ja turvareleen väliset ohjauspiirikuvat menivät moneen kertaan uusiksi, vaikka kyseessä oli varsin yksinkertainen piiri. Usein tein kuvia väsyneenä ja luonnollisesti siinä tulee tehtyä pieniä ajatusvirheitä.

Ammatillisessa mielessä olen huomannut kehittyneeni projektin aikana, erityisesti tekniisten kuvien luku- ja piirtotaidot on saanut lisää ulottuvuutta. Lisäksi kuvien suunnittelu- ja projektinhoitotaidot ovat kehittyneet viimeisten kuukausien aikana. Oppimisen lisäksi olen saanut hyvän kuvan siitä, millaista on suunnitella propulsioympäristöä ja mitä



kaikkea olisi hyvä ottaa huomioon suunnitteluvaiheessa. Jos nyt tekisin työn uudelleen, niin osaisin paremmin keskittyä olennaiseen ja pitää pakettia entistä paremmin hallittavissa. Suunnitelmien tekeminen ja projektien loppuunvieminen vaatii ison porukan, ja keskinäinen kommunikointi sekä hyvä yhteishenki on ensisijaisen tärkeää projektien eri vaiheissa. Onneksi ABB:n ja minun kohdalla yhteishenki oli hyvä ja työnteko mielekästä.

Haluan lopuksi kiittää ABB Marine and Portsia henkilökuntaa ja erityisesti osastopäällikkö Pertti Rönkköä ja projektipäällikkö Pertti Jurvaa sekä Pasi Kauppia tästä mahdollisuudesta ja kaikesta avusta. Ja kiitokset kuuluvat myös työn ohjaajalle Kai Virralle.

Työ oli mielenkiintoinen ja opettavainen, ja toivon insinööriystäni olevan modernisointiyksikölle hyötyä nyt ja tulevaisuudessa propulsio-ohjelmistojen testauksen yhteydessä.

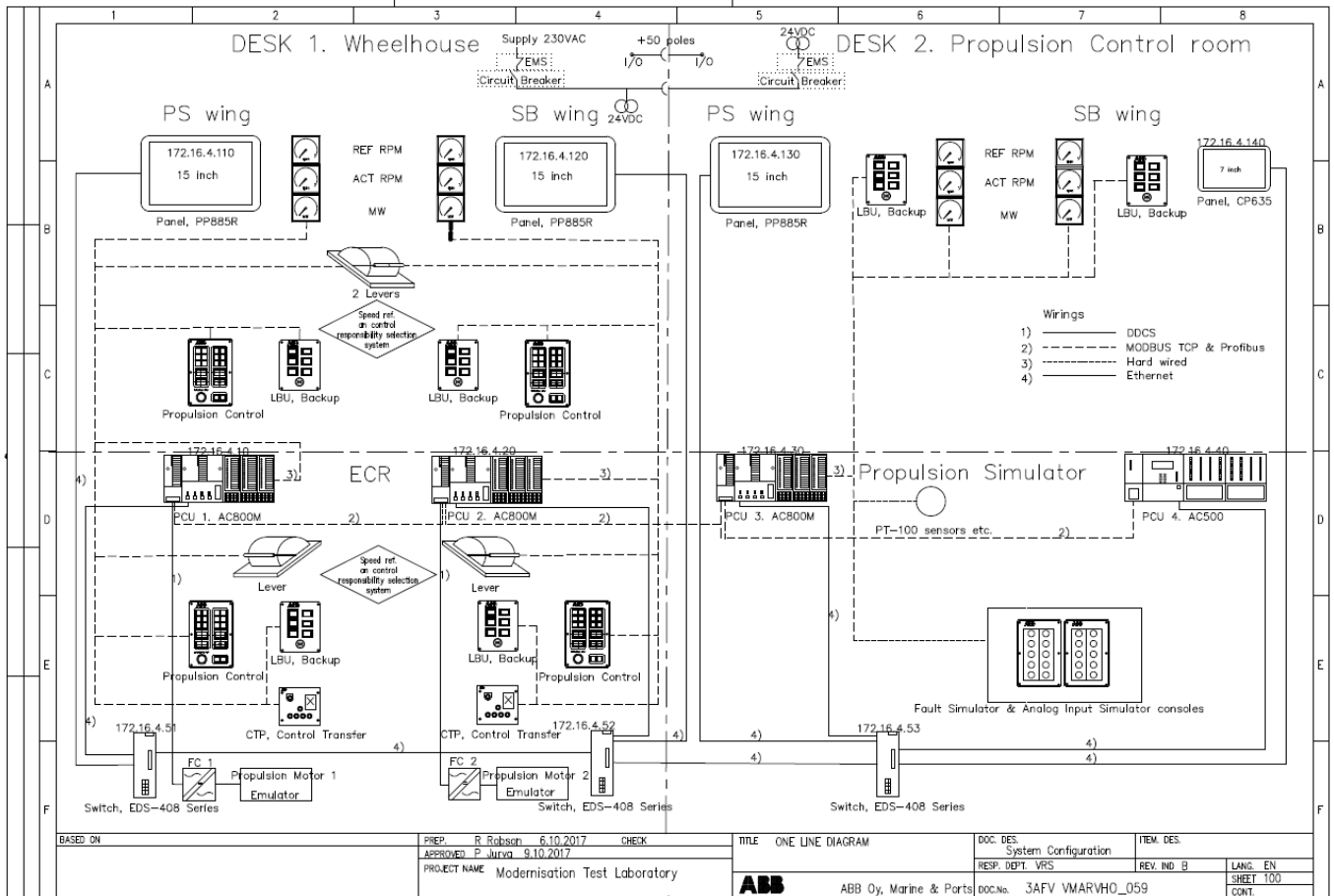
## Lähteet

1. Pertti Rönkkö, Juho Kokkonen. Projektialaveri. ABB Marine & Ports. Keskustelu 9.3.2017.
2. Juho Kokkonen. Projektialaveri käytettävästä hardwaresta. ABB Marine & Ports. Keskustelu 13.3.2017.
3. Pertti Rönkkö, Pertti Jurva, Harri Salminen. Projektialaveri tilattavista osista ja järjestelmän topologian katsaus. ABB Marine & Ports. Keskustelu 20.3.2017.
4. Pertti Rönkkö, Pertti Jurva, Juho Kokkonen. Projektialaveri. ABB Marine & Ports. Keskustelu 23.3.2017.
5. Pertti Rönkkö, Pertti Jurva, Juho Kokkonen. Projektialaveri projektin laajuudesta ja vaatimuksista. ABB Marine & Ports. Keskustelu 30.3.2017.
6. Petri Holsta. Projektialaveri sähkökuvien piirtämisestä. ABB Marine & Ports. Keskustelu 3.4.2017.
7. Pertti Rönkkö, Pasi Kauppi. Projektialaveri pulpettien layout kuvista ja yksivii-vakaaviosta. ABB Marine & Ports. Keskustelu 13.4.2017.
8. Pertti Rönkkö, Pertti Jurva, Pasi Kauppi, Juho Kokkonen. Projektialaveri layout kuvien viimeistelystä. ABB Marine & Ports. Keskustelu 19.4.2017.
9. Pertti Jurva, Pasi Kauppi. Projektialaveri pöytien tilaamisesta. ABB Marine & Ports. Keskustelu 26.4.2017.
10. Pertti Jurva, Vesa Rämö. Projektialaveri ja osaluettelon tarkistus. ABB Marine & Ports. Keskustelu 28.4.2017.
11. Energiatehokasta merimatkaa. 2017. Verkkodokumentti. ABB Marine & Ports. [https://library.e.abb.com/public/f3f5035927384b069cd8633a41279013/Marine\\_Ports.pdf](https://library.e.abb.com/public/f3f5035927384b069cd8633a41279013/Marine_Ports.pdf). Luettu 4.3.2017.
12. Azipod ei lepää laakereillaan. 2011. Verkkodokumentti. ABB Marine & Ports. <http://www.abb.fi/cawp/seitp202/a640dd768ff7339ec12578a200198348.aspx>. Luettu 5.3.2017.
13. Azipod. 2017. Verkkodokumentti. WÄRTSILÄ. [https://www.wartsila.com/encyclopedia/term/azipod-\(azimuthing-podded-drive\)](https://www.wartsila.com/encyclopedia/term/azipod-(azimuthing-podded-drive)). Luettu 5.3.2017.
14. Azipod Gearless Propulsion. 2016. Verkkodokumentti. ABB Marine & Ports. <http://new.abb.com/marine/systems-and-solutions/electric-propulsion/azipod/for-ships>. Luettu 5.3.2017.
15. Ruoripotkuri. 2015. Verkkodokumentti. <https://fi.wikipedia.org/wiki/Ruoripotkuri>. Luettu 10.3.2017.
16. ABB wins order for Arctic ice-going LNG carriers. 2014. Verkkodokumentti. ABB. <http://www.abb.com/cawp/seitp202/de3b546300c71b3bc1257ca60048d1d1.aspx>. Luettu 7.3.2017.

17. Insinööri työ. Heikki Kyöstinen. 2013. Verkkodokumentti. <https://theseus.fi>. Luettu 7.3.2017.
18. Insinööri työ. Janne Rautiainen. 2016. Verkkodokumentti. [http://gallia.kajak.fi/opmateriaalit/yleinen/honHar/ma/ELE\\_P%20I%20D1.pdf](http://gallia.kajak.fi/opmateriaalit/yleinen/honHar/ma/ELE_P%20I%20D1.pdf). Luettu 24.3.2017.
19. Sääntötekniikan perusteita. 2007. Kirjallisuus. Jari Savolainen & Reijo Vaittinen. Luettu 10.10.2017.
20. Aida Hyperion project SNo 2300/2301 General 02.1.pdf. 2015. Kirjallisuus. ABB Marine & Ports. Luettu 24.3.2017.
21. Sähkömoottorikäytöt. Verkkodokumentti. [http://www.oamk.fi/~kurki/automaatio-labrat/TTT/18\\_S%84hk%94moottorik%84yt%94t.pdf](http://www.oamk.fi/~kurki/automaatio-labrat/TTT/18_S%84hk%94moottorik%84yt%94t.pdf). Luettu 11.3.2017.
22. Sähkökäytön mitoitus. Verkkodokumentti. ABB Group. [https://library.e.abb.com/public/b11d4fe92973be93c1256d2800415027/Tekninen\\_opasnro7.pdf](https://library.e.abb.com/public/b11d4fe92973be93c1256d2800415027/Tekninen_opasnro7.pdf). Luettu 28.4.2017.

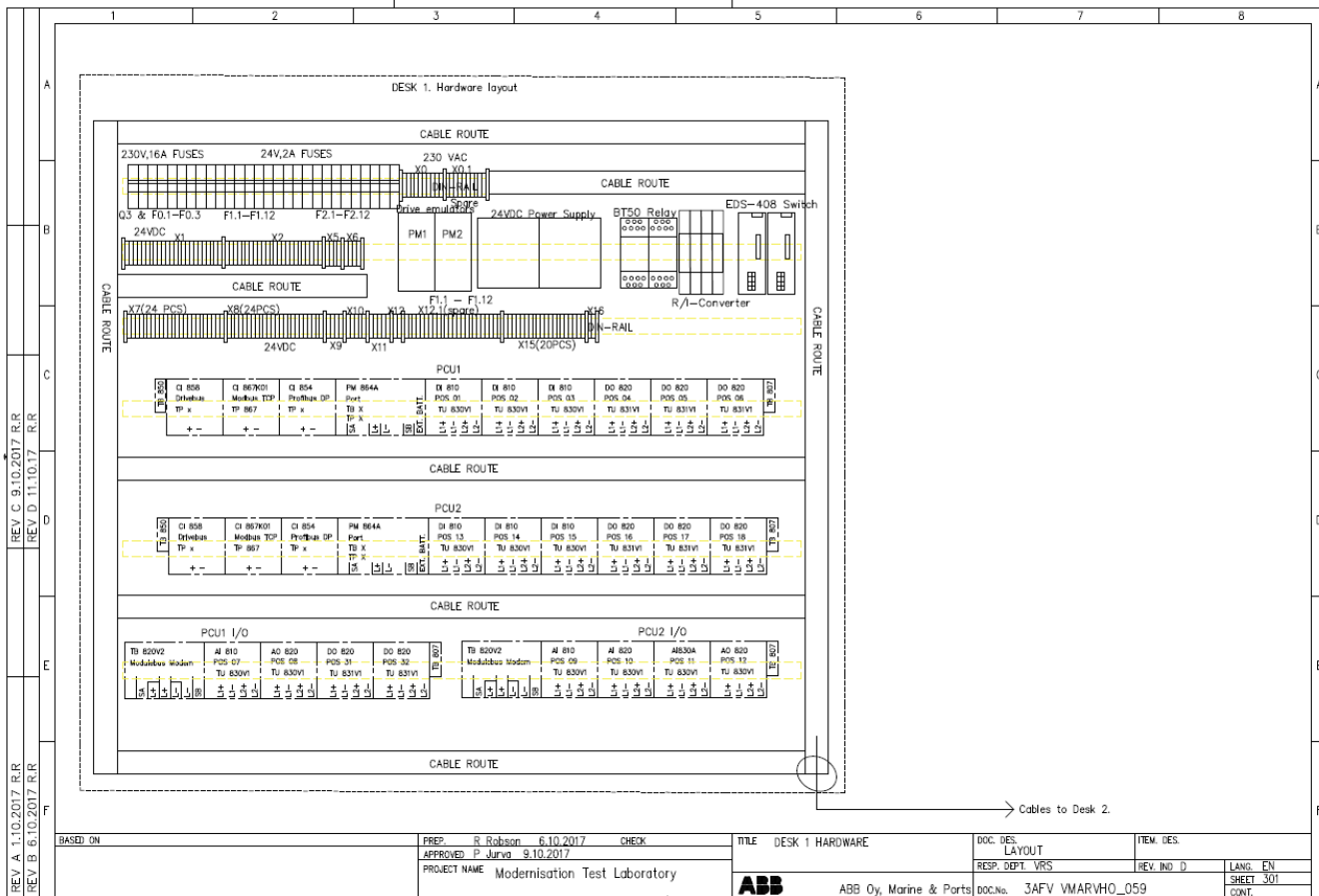
# Järjestelmän topologia

We reserve all rights in this document and in the information contained therein. Reproduction, use or disclosure to third parties without express authority is strictly forbidden. © ABB Oy, Marine & Ports, Finland 2017



# Pöydän 1 laitteiston layout-kuva edestä

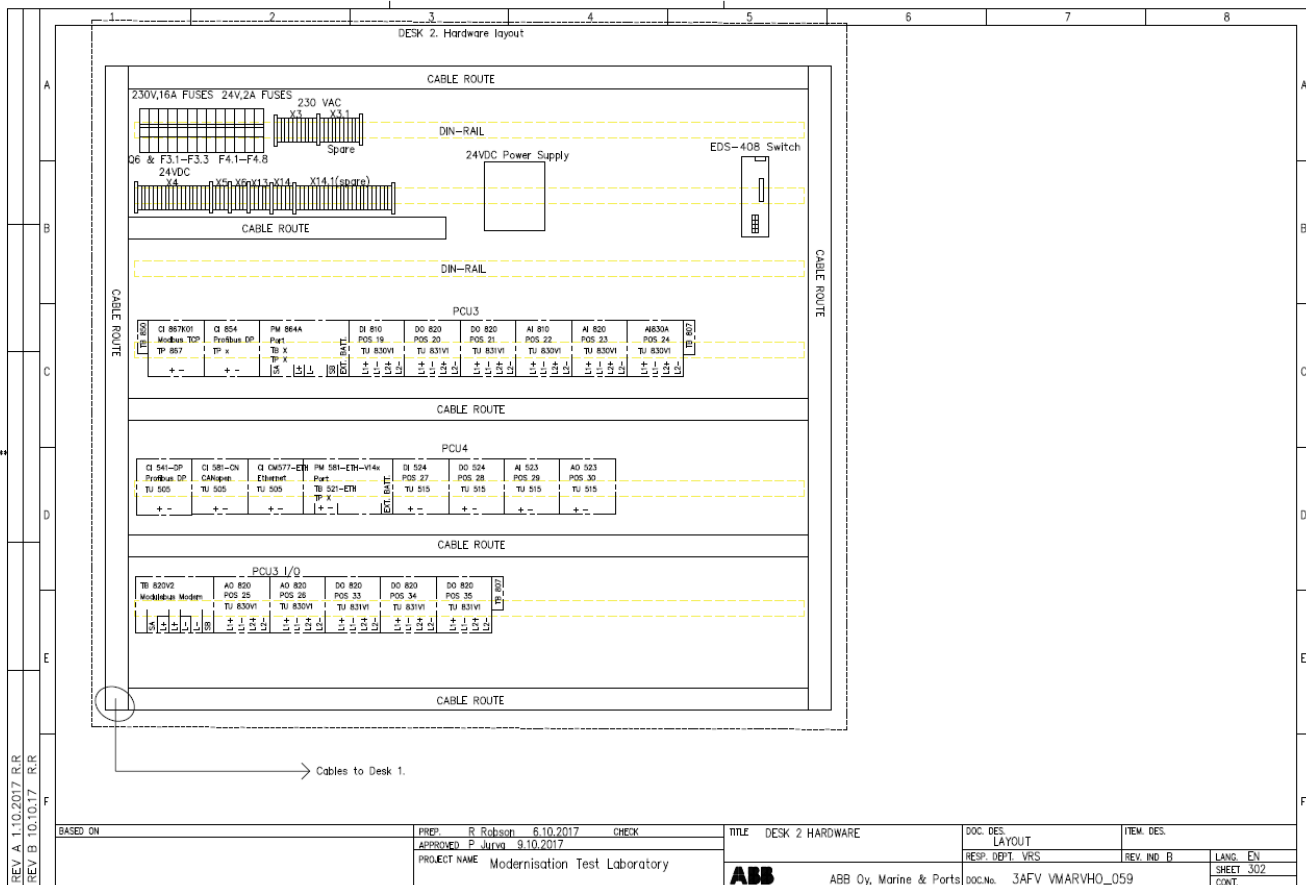
We reserve all rights in this document and in the information contained therein. Reproduction, use or disclosure to third parties without express authority is strictly forbidden. © ABB Oy, Marine & Ports, Finland 2017



REV. C 9.10.2017 R.R  
 REV. D 11.10.17 R.R  
 REV. A 1.10.2017 R.R  
 REV. B 6.10.2017 R.R

## Pöydän 2 laitteiston layout-kuva edestä

We reserve all rights in this document and in the information contained therein. Reproduction, use or disclosure to third parties without express authority is strictly forbidden. © ABB Oy, Marine & Ports, Finland 2017



REV A 1.10.2017 R.R.  
REV B 10.10.17 R.R.

BASED ON	PREP: R Robson 6.10.2017 CHECK	TITLE DESK 2 HARDWARE	DOC. DES. LAYOUT	ITEM. DES.
	APPROVED P Juvra 9.10.2017		RESP. DEPT. VRS	REV. IND. B
	PROJECT NAME Modernisation Test Laboratory	ABB	ABB Oy, Marine & Ports	LANG. EN
			DOC.No. 3AFV VMARVHO_059	SHEET 302
				CONT.

# Autocad-kuvien sisällysluettelo

We reserve all rights in this document and in the information contained therein. Reproduction, use or disclosure to third parties without express authority is strictly forbidden. © ABB Oy, Marine and Ports, Finland 2017

1		2		3		4		5		6		7		8			
SHEET	REV.	TITLE				SHEET	REV.	TITLE				Sheet	REV.	TITLE			
100	C	PROPULSION CONTROL SYSTEM, ONE LINE DIAGRAM				150	D	PCP CIRCUIT DIAGRAM 1/4, BRIDGE PORT				301	D	HARDWARE LAYOUT FROM DESK 1			
101	D	DESK 1 POWER SUPPLY				151	D	PCP CIRCUIT DIAGRAM 2/4, BRIDGE PORT				302	B	HARDWARE LAYOUT FROM DESK 2			
102	C	DESK 2 POWER SUPPLY				152	D	PCP CIRCUIT DIAGRAM 3/4, BRIDGE PORT				303	A	DESK 1 LAYOUT, MID PART			
103	B	PCU1 & PCU2 24VDC POWER DISTRIBUTION				153	D	PCP CIRCUIT DIAGRAM 4/4, BRIDGE PORT				304	A	DESK 2 LAYOUT, MID PART			
104	C	PCU3 & PCU4 24VDC POWER DISTRIBUTION				154	A	PCP CIRCUIT DIAGRAM 1/4, BRIDGE STBD				305	A	DESK 1 LAYOUT, OVERHEAD			
105	C	CABLES BETWEEN DESKS 1 & 2				155	A	PCP CIRCUIT DIAGRAM 2/4, BRIDGE STBD				306	A	DESK 2 LAYOUT, OVERHEAD			
106	B	REMOTE I/O				156	A	PCP CIRCUIT DIAGRAM 3/4, BRIDGE STBD				307	A	PCP LAYOUT			
107	B	ETHERNET COMMUNICATION				157	A	PCP CIRCUIT DIAGRAM 4/4, BRIDGE STBD				308	A	PCP ASSEMBLY			
108	C	MODBUS & PROFIBUS DP COMMUNICATIONS				158	A	PCP CIRCUIT DIAGRAM 1/4, ECR PORT				309	A	PCP HOLES AND APPARATUS			
109	B	DRIVEBUS COMMUNICATION				159	A	PCP CIRCUIT DIAGRAM 2/4, ECR PORT				310	A	PCP FILM			
110	C	E-STOP AND BT50 RELAY CONTACTS				160	A	PCP CIRCUIT DIAGRAM 3/4, ECR PORT				311	A	LBU LAYOUT			
111	D	FAULT SIMULATION				161	A	PCP CIRCUIT DIAGRAM 4/4, ECR PORT				312	A	LBU ASSEMBLY			
112	D	DIGITAL INPUTS, 24VDC				162	A	PCP CIRCUIT DIAGRAM 1/4, ECR STBD				313	A	LBU HOLES AND APPARATUS			
113	D	DIGITAL INPUTS, 24VDC				163	A	PCP CIRCUIT DIAGRAM 2/4, ECR STBD				314	A	CTP LAYOUT & CUTOUT			
114	D	DIGITAL INPUTS, 24VDC				164	A	PCP CIRCUIT DIAGRAM 3/4, ECR STBD				315	A	CTP MACHINING			
115	D	DIGITAL OUTPUTS, RELAYS (NO)				165	A	PCP CIRCUIT DIAGRAM 4/4, ECR STBD				316	A	FSP LAYOUT			
116	D	DIGITAL OUTPUTS, RELAYS (NO)										317	A	AIP LAYOUT			
117	D	DIGITAL OUTPUTS, RELAYS (NO)															
118	B	ANALOG INPUTS, mA SIGNALS															
119	D	ANALOG OUTPUTS, mA SIGNALS															
120	B	ANALOG INPUTS, mA SIGNALS				170	C	LBU CIRCUIT DIAGRAM, BRIDGE PORT									
121	B	ANALOG INPUTS, mA SIGNALS				171	A	LBU CIRCUIT DIAGRAM, BRIDGE STBD									
122	B	ANALOG INPUTS, Pt100 SIGNALS				172	A	LBU CIRCUIT DIAGRAM, ECR PORT									
123	C	ANALOG OUTPUTS, mA SIGNALS				173	A	LBU CIRCUIT DIAGRAM, ECR STBD									
124	D	DIGITAL INPUTS, 24VDC				174	A	LBU CIRCUIT DIAGRAM, MOTOR C. ROOM PORT									
125	D	DIGITAL INPUTS, 24VDC				175	A	LBU CIRCUIT DIAGRAM, MOTOR C. ROOM STBD									
126	D	DIGITAL INPUTS, 24VDC															
127	D	DIGITAL OUTPUTS, RELAYS (NO)															
128	D	DIGITAL OUTPUTS, RELAYS (NO)															
129	C	DIGITAL OUTPUTS, RELAYS (NO)															
130	D	DIGITAL INPUTS, 24VDC				180	D	CTP CIRCUIT DIAGRAM 1/2, ECR PORT									
131	D	DIGITAL OUTPUTS, RELAYS (NO)				181	D	CTP CIRCUIT DIAGRAM 2/2, ECR PORT									
132	D	DIGITAL OUTPUTS, RELAYS (NO)				182	A	CTP CIRCUIT DIAGRAM 1/2, ECR STBD									
133	B	ANALOG INPUTS, mA SIGNALS				183	A	CTP CIRCUIT DIAGRAM 2/2, ECR STBD									
134	B	ANALOG INPUTS, mA SIGNALS															
135	B	ANALOG INPUTS, Pt100 SIGNALS															
136	C	ANALOG OUTPUTS, mA SIGNALS															
137	D	ANALOG OUTPUTS, mA SIGNALS															
138	A	DIGITAL OUTPUTS, RELAYS (NO)				200	C	PROPULSION CONTROL HARDWARE 1/2									
139	A	DIGITAL OUTPUTS, RELAYS (NO)				201	B	PROPULSION CONTROL HARDWARE 2/2									
140	A	DIGITAL OUTPUTS, RELAYS (NO)				202	B	PCP PART LIST									
141	A	DIGITAL OUTPUTS, RELAYS (NO)				203	B	LBU PART LIST									
142	A	DIGITAL OUTPUTS, RELAYS (NO)				204	B	CTP PART LIST									
						205	A	FSP PART LIST									
						206	B	AIP PART LIST									

PREP. R. Robson 6.10.2017 CHECK APPROVED P. Jurva 9.10.2017 PROJECT NAME Modernisation Test Laboratory		TITLE DRAWING LIST <b>ABB</b> ABB Industry Oy Marine		DOC. DES. RESP. DEPT. VRS DOC.No. 3AFV VMARVHO_059		ITEM DES. REV. IND. D LANG. EN SHEET CONT.	
--	--	---	--	--	--	--	--