

Matias Nurmi

Laivan integroidun automaatiojärjestelmän käyttöönottoprosessi

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Automaatiotekniikka

Insinööriytyö

4.5.2017

Tekijä(t) Otsikko Sivumäärä Aika	Matias Nurmi Laivan integroidun automaatiojärjestelmän käyttöönottoprosessi 45 sivua + 14 liitettä 4.5.2017
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Automaatiotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	
Ohjaaja(t)	Aluepäällikkö Mari Melotindos Lehtori Jukka Pirinen
<p>Tämä insinööri työ tehtiin Arctech Helsinki Shipyard Oy:lle keväällä 2017, jolloin Helsingin telakalla rakennettiin monitoimijäänmurtajia venäläiselle Sovcomflot -nimiselle varustamolle. Työn tavoitteena oli toteuttaa yleisesti sovellettavissa oleva ohjeistus laivan integroidun automaatiojärjestelmän käyttöönottoon. Työssä käsitellään yleisesti laivan automaatiota ja siihen vaikuttavia ja sitä määrittäviä tekijöitä. Käyttöönottoprosessi käsitellään työssä tehdaskokeista laivan luovutukseen asti kestävässä prosessina.</p> <p>Helsingin telakalla automaation käyttöönoton vastuu oli tämän työn valmistumisen aikana siirtymässä automaatio suunnittelusta tuotannon sähkövarusteluosastolle. Sitä kautta syntyi tarve automaation käyttöönoton ohjeistukselle ja perustavanlaatuisen selvityksen tekemiselle laivan integroidusta automaatiojärjestelmästä.</p> <p>Tämän työn aikana käytiin läpi laivan integroidun automaatiojärjestelmän tehdaskokeet ja käyttöönottoprosessi työnjohtajan näkökulmasta. Laivan integroidun automaatiojärjestelmän kaikki vaiheet käytiin työn aikana läpi kenttätasolla, järjestelmän valmistuttua osallistuttiin siihen liittyviin laiturijärjestelmien ja merikokeisiin telakan edustajana. Integroidun automaatiojärjestelmän käyttöönotossa noudatettiin luokituslaitoksen sääntöjä ja laivaerittelyä, jotka pohjautuvat kansainvälisen merenkulkualan kattojärjestön pääsääntöön ja tilaajan vaatimuksiin.</p> <p>Tämän insinööri työn tuloksena syntyi kattava katsaus laivan integroidun automaatiojärjestelmän käyttöönottoon ja siihen vaikuttaviin tekijöihin. Tätä ohjeistusta tullaan käyttämään Helsingin telakalla sähkövarustelussa ja koekäytössä automaatiojärjestelmiin liittyvissä työtehtävissä.</p>	
Avainsanat	IAS, PMS, FAT, HAT, SAT, käyttöönotto

Author(s) Title	Matias Nurmi Commissioning of an Integrated Automation System of a ship.
Number of Pages Date	45 pages + 14 appendices 4 May 2017
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Automation technology
Specialisation option	
Instructor(s)	Mari Melotindos, Area Manager Jukka Pirinen, Senior Lecturer
<p>This thesis was commissioned by Arctech Helsinki Shipyard Ltd. during the spring 2017 when the shipyard was building icebreaking supply vessels to their Russian customer Sovcomflot. The goal of this thesis was to make a generally available guide for the commissioning of an Integrated Automation System of a ship. This thesis goes thru the ship's automation systems in general and elements that affect and define it. In this thesis, the commissioning process is handled starting from factory acceptance tests and ending in the delivery of the ship.</p> <p>During this study, the responsibility of the automation system's commissioning at the Helsinki Shipyard was transferred from the Automation Designing to the Electrical Outfitting. This created a need for a basic research and guide for commissioning the ship's Integrated Automation System.</p> <p>During this process, participation at the factory acceptance tests and the entire commissioning work of the Integrated Automation System was performed from the viewpoint of the foreman. All different phases of the process were participated in from a field level. After the completion of the system, the sea and harbor acceptance tests were also participated in as a commissioner of the shipyard. During the commissioning, the rules of the Classification Society and specifications of the ship were followed, these are based on the main rules of the International Maritime Organization and the owners demands.</p> <p>The outcome of this thesis is a versatile research about the commissioning process of a ship's Integrated Automation System. This guide will be used in the Electrical Outfitting and Commissioning Department of Helsinki Shipyard in tasks which are related to the automation systems.</p>	
	IAS, PMS, FAT, HAT, SAT, commissioning

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Laiva-automaatio	2
2.1	Laiva-automaatiota koskevat säännöt	3
2.1.1	Turvallinen satamaan paluu (SRtP)	4
2.1.2	Miehittämätön konehuone	5
2.2	Integroitu automaatiojärjestelmä, IAS	5
2.2.1	Power Management System, PMS	10
2.2.2	Satamamoodi	13
2.2.3	Manööveraus-/ohjailumoodi	13
2.2.4	DP-moodi	14
2.2.5	Merimoodi	14
2.2.6	Öljynkeräysmoodi	15
2.3	Hälytysjärjestelmät miehittämättömän konehuoneen ajoon	15
3	Käyttöönotto	17
3.1	Käyttöönoton vaiheet	19
3.2	Automaatiopisteiden testaus	21
3.2.1	Hardware-pisteet	22
3.2.2	Sarjaliikennepisteet	23
3.2.3	Ohjelmalliset pisteet	25
3.3	Logiikoiden testaus	26
3.3.1	Stand by -logiikka	28
3.3.2	Säätöpiiri -logiikka	29
3.3.3	PMS -logiikat	30
4	Koeohjelmat	31
4.1	Tehdaskoe, Factory Acceptance Tests (FAT)	32
4.1.1	Software FAT	32
4.1.2	Hardware FAT	35
4.1.3	PMS FAT	37
4.2	Laiturikoe, Harbour Acceptance Test (HAT)	38

4.3 Merikoe, Sea Acceptance Test (SAT)	40
5 Yhteenveto	43
Lähteet	45
Liitteet	
Liite 1. IAS system cables and connections	
Liite 2. IAS-järjestelmän laiturikoeohjelma	

Lyhenteet

MAS	Machinery Automation System. Perinteinen laivan koneautomaatiojärjestelmä.
IAS	Integrated Automation System. Laivan pääautomaatiojärjestelmä, jonka avulla hallitaan laivan muita järjestelmiä.
PMS	Power Management System. Tehonjakojärjestelmä, jonka avulla hallitaan laivan generaattoreita ja suuria kuluttajia.
FAT	Factory Acceptance Test. Tehdaskoe, jossa testataan järjestelmän toimintoja järjestelmätoimittajan tiloissa.
HAT	Harbour Acceptance Test. (Quay Trial, Dock Trial) Laiturikoe, jossa testataan järjestelmien toimintoja aluksen ollessa telakalla.
SAT	Sea Acceptance Test. Merikoe, jossa testataan järjestelmien toimintoja meriolosuhteissa.
IMO	International Maritime Organisation. Kansainvälinen merenkulun kattojärjestö.
SOLAS	Safety of Life at Sea. Laivanrakennuksen pääsäännöstä, jonka tehtävänä on turvata ihmishenkiä merellä.
HVAC	Heating, Ventilation and Airconditioning. Lämpö, Vesi ja Ilmastointi -järjestelmät.
I/O	Input/Output. Tiedon siirtämistä tietokonelaitteiston ja komponenttien välillä.
SRtP	Safe Return to Port. Luokkamerkki joka vaatii, että aluksen on päästävä onnettomuuden sattuessa satamaan omin avuin.

UMS	Unmanned Machinery Spaces. Luokkamerkki joka sallii aluksen miehittämättömän konehuoneen ajon.
DP	Dynamic Positioning. Luokkamerkki jonka mukaan alus pysyy merellä paikallaan ilman ankkuria tai muita kiinnityksiä.
DG	Dieselgenerattori. Laivan sähköntuotantokoneisto joka rakentuu dieselmoottorista ja generaattorista.
LDP	Load Dependent. Generaattorin kuormasta johtuva toiminta, esimerkiksi sammutus tai käynnistys.
UPS	Uninterruptible Power Supply. Laite joka takaa tasaisen virransyötön sähkökatkojen aikana tai syöttöjännitteen ollessa epätasainen.

1 Johdanto

Tämä insinööri työ on tehty Arctech Helsinki Shipyardille keväällä 2017. Työn teko hetkellä Helsingin Hietalahden telakalla rakennettiin monitoimijäänmurtajia venäläiselle laivanvarustamo Sovcomflotille. Pääautomaatiojärjestelmänä näihin aluksiin käytettiin Valmetin DNA-järjestelmää. Vaikka tämän työn pohjana on käytetty yhdentyyppistä alusta ja yhden järjestelmän käyttöönottoa, on näkökulmia pyritty hakemaan ulkopuolisista lähteistä ja eikä asioita ole haluttu yleistää itsestään selvyyksinä.

Tässä insinööri työssä pyritään selventämään laivan pääautomaatiojärjestelmän käyttöönottoprosessia ja siihen liittyviä tekijöitä tehdaskokeesta laivan luovutukseen asti. Laivan automaatiojärjestelmän käyttöönotto on aiheena itsessään laaja ja monipuolinen, sen takia eri tyyppisten laivojen erityisominaisuuksia ja vaatimuksia automaatiojärjestelmän suuntaan on haluttu rajata tämän työn ulkopuolelle.

Vaikka kyseessä on työ, jossa tutkitaan lähtökohtaisesti käyttöönottoprosessia, on paremman kokonaiskuvan saavuttamiseksi laiva-automaatiota käsitelty tässä työssä myös yleisellä tasolla. Sitä kautta on pyritty pohjustamaan laiva-automaation erityispiirteitä ja siihen vaikuttavia sekä sitä määrittäviä sääntöjä.

Joitakin olennaisesti käyttöönottoon liittyviä kokonaisuuksia, esimerkiksi erilaisten antureiden toiminnan testaus, on rajattu tämän työn ulkopuolelle aiheen laajuuden vuoksi. Tässä työssä ei myöskään syvällisemmin käsitellä eri järjestelmätoimittajien käyttöjärjestelmiä ja niiden toiminnallisia eroja, vaan tässä työssä on keskitytty siihen, mitä toimintoja käyttöjärjestelmästä tulee löytyä ja miten niiden tulee toimia järjestelmätoimittajasta ja käytettävästä ohjelmistosta riippumatta.

2 Laiva-automaatio

Puhuttaessa yleisesti laiva-automaatiosta on vaikea olla huomaamatta sen erityispiirteitä. Jatkuvasti muuttuvat olosuhteet, lämpötilaerot, mekaaninen tärinä, pöly ja lika asettavat automaatiolle omat haasteensa. Käytännössä kokonaisen kaupungin infrastruktuuria pyörittävä automaatiojärjestelmä on rakennettava luokituslaitoksen määräysten ja tilaajan spesifikaatioiden mukaisesti kohtuullisen pienelle alueelle usein vielä kovien aikataulupaineiden alla.

1980- ja 1990-lukujen taitteessa laiva-automaation kehityksessä siirryttiin relelogiikoista asteittain kohti integroitua automaatiojärjestelmää. Perinteinen laiva-automaatio rakentuu koneautomaation pohjalle, koska automaatiojärjestelmän tärkein tehtävä laivassa on laivan voimalaitoksen ohjaaminen. Perinteisesti laiva-automaatiossa järjestelmien integraatioaste on aikaisemmin ollut matala ja esimerkiksi turvajärjestelmät ovat olleet erillisiä järjestelmiään. Tämän kaltaista järjestelmää kutsutaan myös stand alone -järjestelmäksi. Automaatio järjestelmästä onkin aikaisemmin käytetty enemmän lyhennettä MAS (Machinery Automation System), joka viittaaakin suoraan koneautomaatiojärjestelmään enemmän kuin nykyisin käytetty IAS-lyhennettä (Integrated Automation System). Kenttäliitynnät laitteisiin ovat olleet perinteisesti pääosin hardware-signaaleja, sarjaliikenteen määrä ja erilaisten väylätekniikoiden käyttö on ollut vähäistä. [1.]

Laiva-automaation kehitystä maapuoleen verrattuna ovat hidastaneet tiukat säännöt ja määräykset, joiden päivittämisessä luokituslaitokset ja kansalliset viranomaiset eivät ole pysyneet perässä automaation jatkuvan kehittymisen vuoksi. Luokituslaitoksen hyväksynnän saaminen uudelle tekniikalle hidastaa automaatiotekniikan kehitystä laivoissa. Kilpailu on myös laiva-automaatioalalla vähäisempää maapuoleen verrattuna, tämän vuoksi järjestelmä- ja laitetoimittajilla ei ole ollut yhtä kova paine kehittää tuotteitaan paremmiksi. [2, s. 139.]

Uusia automaatoratkaisuja on kuitenkin tuotu pikkuhiljaa myös laiva-automaatioon. Modernissa laiva-automaatiossa integraatioaste on järjestelmien kesken korkeampi, turvajärjestelmät on integroitu pääautomaatiojärjestelmään omana osanaan ja HVAC-järjestelmät on kokonaan integroitu koneautomaatioon risteilijöissä usein omilla ja työlaivoissa yhteisillä prosessiasemillaan. Kommunikointirajapinta erillisten automaatiojärjestelmien kanssa on kasvanut sarjaliikenneväylien ja monipuolisempien järjestelmien rajapintojen myötä. [1.]

Modernissa laiva-automaatiossa käytetään hajautettua I/O:ta ja tärkeissä kohteissa älykkäitä toimilaitteita. Käyttöliittymät ovat dynaamisia, käyttäjällä on jatkuvasti reaaliaikaista tietoa eri järjestelmien tilasta. Järjestelmien monipuolistuessa myös säätöpiireistä tulee monimutkaisempia säätöön vaikuttavien muuttujien lisääntyessä. [1.]

Automaatiojärjestelmän rakenteen, liitettävien laitteiden ja nopeuksien kehitys on ollut suurta. Tiedonsiirron nopeus on moderneissa järjestelmissä kasvanut kilobiteistä gigabitteihin ja niiden rakenteisiin on saatu useampia ohjausyksiköitä. Tietotekniikan kehitys on mahdollistanut tietojen tallennustilan laajenemisen, raskaampien ohjelmien sekä parempien käyttöliittymien kehittämisen. Tärkeintä laiva-automaation kehityksessä on kuitenkin ollut mittaustekniikan ja ohjaustekniikan kehitys, joka mahdollistaa lähes kaikkien laivan laitteiden ohjaamisen automaation avulla. Huomioitavaa on, että automaatioaste on yleisesti ottaen risteilijöissä korkeampi kuin työlaivoissa, joissa automaatiota karsitaan helpommin kustannussyistä. [3.]

2.1 Laiva-automaatiota koskevat säännöt

Laivasopimuksessa määritellään kaupan kohde ja sen toimitusehdot. Laivasopimuksen liitteenä on tekninen erittely, joka määrittelee muun muassa alustyyppin, tekniset suoritusarvot, olosuhteet ja noudatettavat säännöt. Säännöistä tärkeimmät ovat luokkamerkki ja aluksen rekisteröintimaa eli lippuviranomainen. [4, s. 3]

Hyvässä teknisessä erittelyssä on myös määritelty automaation laajuus laivassa ja integroidun automaation sisältö ja toiminnot. Automaation sisältö määritellään ja sitä rajaavat säännöt rajataan erittelyssä niin tarkasti, että sen perusteella voidaan suunnitella ja rakentaa laiva, joka on tilaajan toiveiden ja luokituslaitosten sääntöjen mukainen. Erittelyssä todetaan aina, että automaatiojärjestelmä tulee rakentaa noudattaen luokituslaitoksen sääntöjä ja sen jälkeen tilaaja määrittelee automaation laajuuden haluamallaan tarkkuudella. Esimerkkinä yleisistä asioista, jotka sisällytetään määrittelyyn, ovat miehitettävyyden konehuoneen mahdollisuus, järjestelmän redundanttisuus, automaatiopisteiden määrä ja käyttöjärjestelmästä löytyvät sivut. Tekninen määrittely sisältää myös kuitenkin hyvin yksityiskohtaisesti tietoa laivassa käytettävien antureiden toimintaperiaatteista ja niissä käytettävistä signaaleista. [5, s. 27-39.]

Laiva-alalla noudatettavia sääntöjä on paljon. Kansainvälinen merenkulun kattojärjestö IMO on luonut ja ylläpitää dokumenttia nimeltä SOLAS, joka tähtää turvalliseen merenkulkuun. Luokituslaitosten säännöt julkaistaan sääntökokoelmina ja niiden kartoittaminen on yksinkertaisempaa kuin IMO:n sääntöjen. Laivaa määrittävät säännöt saattavat muuttua huomattavasti, kun vaihdetaan alustyyppistä toiseen. Laivan luokkamerkki on määritelty teknisessä erittelyssä tai laivasopimuksessa.

Luokituslaitos nojaa määräyksissään SOLAS:iin. Luokituslaitoksen vaatimukset laivan pääautomaatiojärjestelmältä liittyvät laivan turvalliseen operointiin merellä. Hyviä esimerkkejä SOLAS:in ja luokituslaitoksen määräysten vaikutuksista laivan automaatiojärjestelmiin ovat miehittämättömän konehuoneen vaatimukset ja turvallinen satamaan paluu.

2.1.1 Turvallinen satamaan paluu (SRtP)

Safe Return to Port eli SRtP tarkoittaa laivan kykyä palata onnettomuuden tapahduttua turvallisesti satamaan. Perusajatuksena on vahvistaa aluksen omaa viansietokykyä tulipaloa ja vuotoja vastaan. Useimmissa aluksissa joita SRtP-vaatimus koskee, on moderni automaatiojärjestelmä, joka ohjaa aluksen kaikkia toimintoja. SRtP-vaatimuksessa määritellään mitkä laivan systeemeistä tulee säilyä toimintakuntoisena onnettomuuden tapahduttua (SOLAS II-2/Reg.21). Käytännössä tämä tarkoittaa, että automaation tulee säilyä toimintakuntoisena, vaikka sen redundanttinen ominaisuus voidaankin menettää, eli toinen puoli kahdennuksesta jää onnettomuuden jälkeen toimimaan. [6, s. 222–223; 7.]

Laivan rakennuksessa SRtP-vaatimus huomioidaan automaation osalta kiinnittämällä huomiota seuraaviin seikkoihin:

- prosessi- ja kontrolliasemien määrään ja sijoitteluun
- sähkön syöttö-, kenttäväylä-, sensorijärjestelyyn ja kaapelointiin
- vaihtoehtoihin valvonta- ja ohjauspaikkoihin, esimerkiksi konevalvomopalon yhteydessä.

2.1.2 Miehitämätön konehuone

Miehitämätön konehuone voidaan määritellä siten, että aluksen konetiloihin on tehty riittävästi järjestelyjä laivan turvallisen operoinnin kannalta niin, että sen toiminta vastaa kaikissa tilanteissa miehitettyä konehuonetta (SOLAS II/Part. E). Toisin sanoen laivalla tulee olla niin laaja automaatio- ja hälytysjärjestelmä, että konetilojen laitteita ja järjestelmiä pystytään monitoroimaan konevalvomosta. Konehälytysten tulee välittyä komentosillalle ja konemestareiden asuintiloihin. Propulsio-järjestelmän kauko-ohjaus tulee myös olla komentosillalla. [6, s. 111–114.]

Nämä vaatimukset vaikuttavat konkreettisesti hyvin paljon laivan integroituun automaatiojärjestelmään. Automaatiojärjestelmästä tulee saada kaikki tarvittava tieto konejärjestelmistä reaaliajassa ja historiatrendeinä, joka taas määrittelee esimerkiksi käytettävien antureiden toiminnollisuuksia. Järjestelmiä pitää pystyä ohjaamaan reaaliajassa ja tärkeät pumput pitää rakentaa redundantisiksi ja stand by -logiikalla toimiviksi.

2.2 Integroitu automaatiojärjestelmä, IAS

Laivan pääautomaatio järjestelmä eli Integroitu automaatiojärjestelmä (Integrated Automation System, IAS) on moderneissa laivoissa erittäin keskeisessä roolissa aluksen toiminnan kannalta. Automaatiojärjestelmässä on liitäntäpinta kaikkiin laivan ohjausjärjestelmiin ja sen kautta ohjataan aluksen tärkeimpiä toimintoja kuten kuljetuskoneistoa ja voimantuotantokoneistoa. [8.]

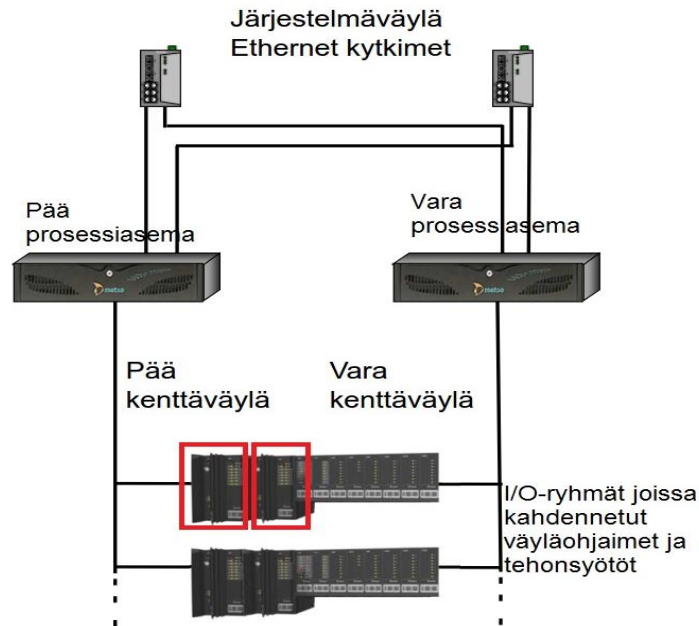
Automaatiojärjestelmän rakennetta voidaan tutkia monesta eri näkökulmasta. Laiva-automaatiota koskevien määräysten takia automaation rakenteeseen kuuluu aina tietyt yksiköt, mutta viime kädessä järjestelmän rakenne on toimittajasta riippuvainen. Kuvassa 1 on esitetty automaatiojärjestelmän rakenne järjestelmän osien käyttötarkoitusten mukaan. Jokaisen tason välissä on siihen soveltuva kommunikointirajapinta. [3, s. 11.]



Kuva 1. Integroidun automaatiojärjestelmän tasot esitettynä graafisesti. [9, s. 7.]

Automaatiojärjestelmän perustana toimii kenttätaso jolla sijaitsevat anturit, sensorit ja ohjattavat toimilaitteet. Tällä tasolla siis tapahtuu automaatiojärjestelmän datan keruu ja täällä tapahtuvat fyysisesti ohjaukset.

Prosessitasolla sijaitsevat laivan I/O-keskukset ja järjestelmäkomponenttien sähkönsyöttö. I/O-keskukset sisältävät I/O-räkkejä, joissa on I/O-kortteja rivissä, sekä väyläohjaimet ja tehonlähde kullekin räkille. Redundanttisuusvaatimuksista johtuen I/O-korteilta tieto vietään molemmille prosessiasemille. Kuvassa 2 on havainnollistettu järjestelmän kahdennusta I/O-keskuksilta Ethernet-kytkimille.



Kuva 2. I/O-ryhmien redundanttisuus. [10, s. 12.]

Yleisimmin laivalla käytössä olevat I/O-korttityypit ovat

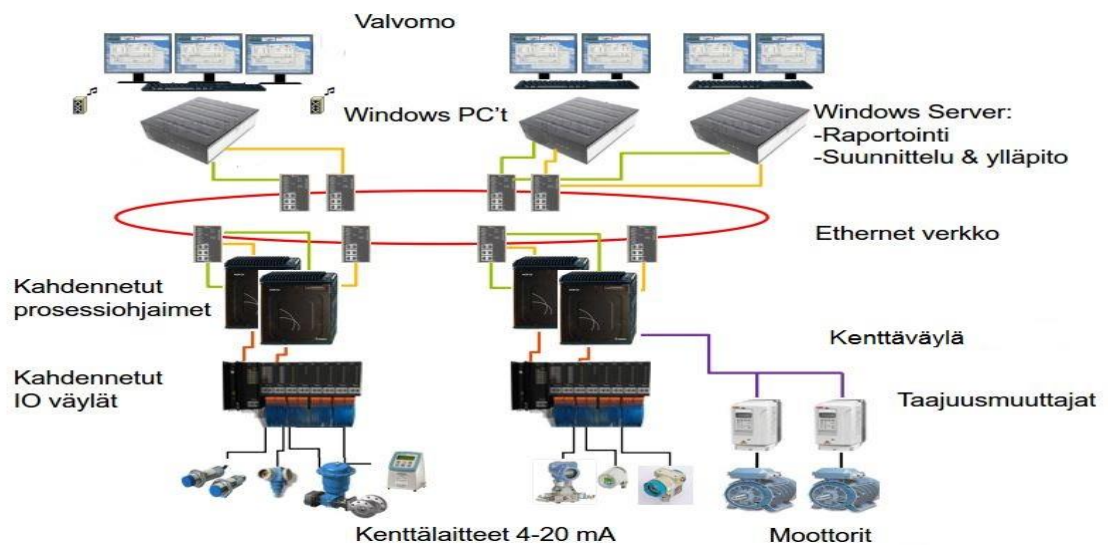
- analoginen Input- ja Output-kortti 4-20 mA signaalille
- digitaalinen Input- ja Output-kortti binääriselle signaalille
- vastusarvoa lukeva Input-kortti Pt100 -antureiden lämpötilanmittausta varten
- taajuuskortti pulssiviesteille (harvoin käytetty) [3, s. 14].

I/O-korteilta siirrytään kenttäväylää pitkin prosessiasemille, jotka muodostavat järjestelmätason. Operointitasolla sijaitsee järjestelmän operointiasemat, käyttöjärjestelmä, järjestelmän serverit ja itse operaattori. Laivassa on automaatiojärjestelmälle useita eri operointiasemia ja konevalvomossakin niitä on pääsääntöisesti vähintään kaksi järjestelmän redundanttisuuden vuoksi. Poikkeuksena pienemmissä aluksissa konevalvomoon riittää yksikin operointiasema. Tällöin automaatiopisteiden määrän tulee olla alle 1500. [11.]

Toimistotaso ei itse järjestelmän toiminnan kannalta ole oleellinen. Nykyään on kuitenkin mahdollista saada laivoista tärkeää dataa reaaliaikaisesti satelliittiyhteyden kautta maakonttoreihin. Tämä tieto on varustamoille tärkeää laivojen huollon ja kunnossapidon ja etäkunnonvalvonnan kannalta. Automaatiojärjestelmässä on oma DMZ-alue palvelimille tätä yhteyttä ja verkkotulostinta varten.

On hyvä kuitenkin huomioida, että laiva-automaation kehityssuunta yleisesti ottaen on menossa asteittain kohti autonomisia laivoja. Tämä tarkoittaa sitä, että toimistotasosta on tulevaisuudessa kehitymässä erittäin tärkeä osa laivan automaatiojärjestelmää. Toimistotaso tulee aluksi olemaan enemmän tukena ja ohjauksen apuna, kunnes asteittain siirrytään kauko-ohjattujen alusten kautta kokonaan autonomisiin aluksiin. [12, s. 27.]

IAS rakentuu operointiasemien, prosessiasemien, I/O-korttien, väylien ja kenttälaitteiden ympärille. Säännöt ja laivasopimus määrittelevät järjestelmän toiminnot ja järjestelmän toimittaja rakenteen. Kuvassa 3 on esitettyä Valmet DNA-järjestelmän arkkitehtuuri integroidulle automaatiojärjestelmälle. [3, s. 11–15.]

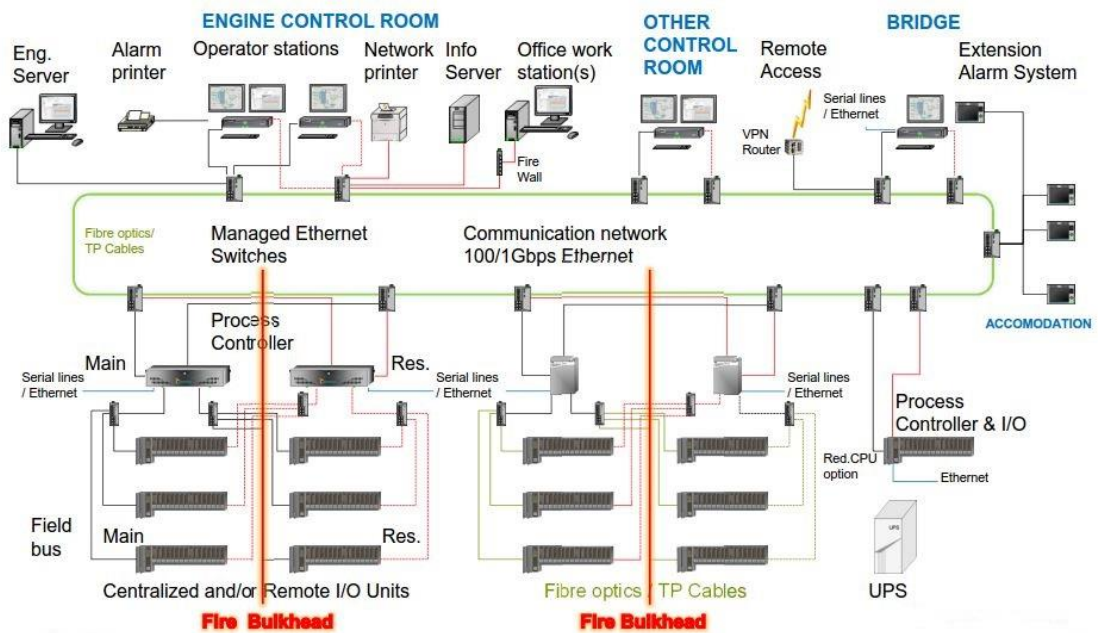


Kuva 3. Valmet DNA -järjestelmän arkkitehtuuri [12, s. 2]

Laivan automaatiojärjestelmässä tulee I/O-kaappien tiedot tuoda prosessiasemille kahdennettuina eli redundantisesti. Laivoissa käytetään pääsääntöisesti sarjaliikennettä I/O-yksiköistä ylöspäin. Käytetyimmän sarjaliikenneprotokollat ovat nykyään Modbus

RTU ja Modbus TCP, joissa käytetään RS-485 -tiedonsiirtomenetelmää. Yleisesti laivoissa on käytössä molemmista protokollista Ethernet-versio, sarjaporttiversio jännässä vähemmälle. [3, s. 12.]

Kuvassa 4 on esitettyä Valmet DNA-järjestelmän kahdennustapa. Prosessiasemat ja I/O-keskukset ovat sijoitettu laivassa eri paloalueille ja näin muodostetaan järjestelmälle pää- ja vara-asemat. [10, s. 5.]



Kuva 4. IAS-järjestelmän kahdennus [10, s. 2.]

Molemmilla asemilla on identtinen sovellus ja toinen prosessiasemista toimii aktiivisena, toinen passiivisena. Järjestelmän sisäinen diagnostiikka valvoo kahdennustoimintoja ja vain aktiivinen asema tekee ohjauksia. [10, s. 11-12.]

Integroituun automaatiojärjestelmään liittyy useita laivan eri järjestelmiä. Niitä ja niiden liityntöjä ei tässä työssä käsitellä niiden laajuuden vuoksi. Integroituun automaatiojärjestelmään on kuitenkin upotettu muutamia erillisiä järjestelmiä, joiden kuuluminen IAS:iin on nykyään jo enemmänkin standardi. Niitä käsitellään seuraavaksi lyhyesti.

2.2.1 Power Management System, PMS

Laivan tehonjakojärjestelmä, eli Power Management System tai PMS, on perinteisesti ollut laivoissa omana Stand alone -järjestelmänään, mutta automaation integraatioasteen kasvaessa jo viime vuosikymmenellä PMS on yhä useammin integroitu IAS:iin. IAS:n käyttöönoton kannalta PMS onkin yksi tärkeimmistä siihen liittyvistä järjestelmistä ja se sisältää käyttöönoton kannalta laiva-automaation monimutkaisimmat logiikkaohjaukset.

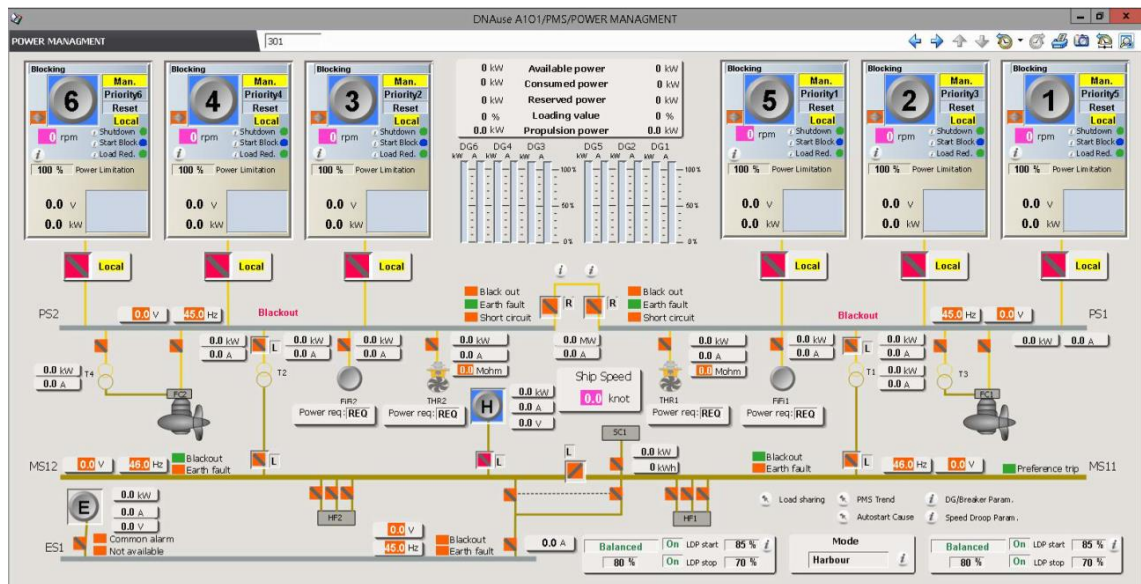
Tyypilliset PMS -järjestelmän päätoiminnot:

- käsi- ja automaattikäynnistys
- käsi- ja automaattipysäytys
- automaattinen tahdistus ja generaattorikatkaisijoiden ohjaus
- generaattoreiden kuormanjako ja -hallinta
- kuormasta riippuvat generaattoreiden käynnistys- ja pysäytystoiminnot
- black-out tilanteesta toipuminen
- ajomoodit, päätaulun automaattinen konfigurointi ja ajomoodista toiseen siirtyminen sekvenssiohjauksella
- joissain tapauksissa myös hätäpysäytys [13, s. 9].

Jos PMS toteutetaan Stand alone -periaatteella käytetään usein moduuleja suhteellisen vakioiduilla toiminnollisuuksilla. Usein nämä moduulit sijoitetaan laivan päätaulujen kennoihin, jossa sijaitsee tällöin myös käyttöjärjestelmän primääri käyttöliittymä. [13, s. 4.]

Stand alone -periaatteella rakennettu PMS ei kuitenkaan ole enää moderni ratkaisu, sillä se on toiminnaltaan kankea, eikä sen toimintoja voi juurikaan muuttaa. PMS-moduulilla ei myöskään saavuteta helposti vaadittavaa redundanttisuutta, vaan yhden moduulin vikaantumisen saattaa estää koko automaation toiminnan. Redundanttisuuden takaamiseksi PMS-moduuleita tulisi laivan sähköpääkeskuksissa olla aina kaksi kappaletta. [13, s. 4.]

IAS:iin integroitu PMS käyttää samaa dataa kentältä kuin IAS itsekin, erillistä sarjaliikennettä ei tarvita ja I/O-moduulit ovat järjestelmällä yhteisiä. Kaikki PMS:n suojat, kuten erilliset suojaireleet sekä kaikkien toimintojen paikallishjauksen tulisi löytyä päätaulusta, joka on täysin riippumaton PMS:sta. Primääri käyttöliittymä löytyy IAS:sta, joten se on saatavilla useassa paikassa aluksella. IAS:iin integroitu PMS on järjestelmänä joustava ja sen toiminnot voidaan määritellä melko vapaasti. Järjestelmän vikasietoisuus lisääntyy myös integroinnin kautta, sillä järjestelmä on helpompi tehdä redundanttiseksi. [13, s. 5.]



Kuva 5. Integroidun automaatiojärjestelmän PMS-sivu. [14]

Kuvassa 5 on Valmet DNA-käyttöjärjestelmällä tehty esimerkki modernin jäänmurtajan PMS-näytöstä. PMS-näyttö pohjautuu laivan sähkökuvan pääkaavioon. Päägeneraattorit näkyvät kuvan yläreunassa, ja ne ovat numeroituina yhdestä kuuteen. Generaattorin kohdalta klikkaamalla kone voidaan käynnistää ja pysäyttää. Kone tahdistaa ja liittää itsensä automaattisesti verkkoon, mikäli se on asetettu auto-moodiin automaattiselle ohjaukselle. Kuvassa kaikki generaattorikatkaisijat ovat local-moodissa eli paikallishjauksessa, joten kaikissa generaattoreissa on siitä syystä sisäinen lukitus päällä, eikä niitä voida käynnistää PMS-sivulta ennen kuin koneet siirretään remote-tilaan, jolloin ohjaus tapahtuu IAS:n kautta. [14.]

Generaattoreiden kuorma näkyy kunkin generaattorin alareunassa numeroarvona sekä graafisena esityksenä. Kuormanjaon hallinta näkyy näytön oikeassa alareunassa sieltä löytyy molempien propulsiotaulujen kuormanjaon, jossa tilatieto "balanced" kertoo siitä, että automaattinen kuormanjako on päällä generaattoreiden kesken. Tilatiedon vieressä

on LDP (Load Dependent) start- ja stop-arvot, joita säätämällä voidaan määrittellä millä kuormalla PMS käynnistää tai sammuttaa automaattisesti prioriteettijärjestyksessä seuraavan generaattorin ja alkaa jakaa kuormaa sille. [14.]

Black-out-tilanteella tarkoitetaan jännitteen katoamista laivan sähköverkosta, lähtökohteisesti black-out johtaa laivan ohjattavuuden katoamiseen ja vaaratilanteeseen. PMS:n tehtävänä on laivan sähköverkon uudelleen rakentaminen ja black-out-tilanteesta toipuminen. Laivoissa on black-out-tilannetta varten hätägeneraattori, joka käynnistyy automaattisesti tilanteen vaatiessa. Hätägeneraattori syöttää laivan hätätaulua, johon on liitetty laivan kulun ja turvallisuuden kannalta elintärkeitä toiminnot, normaalissa tilanteessa hätätaulu saa syöttönsä laivan pääverkosta. [14.]

PMS rakentaa laivan sähköverkon uudestaan käynnistämällä hätätaulusta syöttönsä saavia, generaattoreiden käynnistämiseen tarvittavia komponentteja. Heti kun on mahdollista PMS käynnistää ensimmäisenä valmiina olevan dieselgeneraattorin (myöhemmin DG) ja tahdistaa sen propulsioverkkoon, kun generaattorin jännite on sopiva. Propulsioverkosta PMS jakaa sähkön seuraavaksi jakelumuuntajien kautta laivan pääverkoon, ja näin sähköverkko on saatu rakennettua sitä kautta uudestaan toimimaan. Täydellisen sähkökatkon jälkeen PMS:n on pystyttävä käynnistämään porrastamalla laivan koneiston ja ohjauksen kannalta tärkeitä pumppuja ja puhaltimia. Näitä pumppuja ovat esimerkiksi propulsiokoneisto-järjestelmän pumput, pääkoneiden polttoaineen syöttöpumput, koneiden jäähdytysveden pumput, sekä konetilojen ja propulsiokoneisto-järjestelmän tuulettimet. [14.]

Laivan ajomoodeilla tarkoitetaan esiasetettuja asetuksia, jotka kuvaavat laivan sen hetkistä operointitilaa. Kuvan 4 oikeasta alareunasta valitaan haluttu moodi, jolloin PMS toimii esiasetusten mukaisesti. Yleisesti käytössä olevia ajomoodeja ovat esimerkiksi satama-, manööveraus/ohjailu-, DP-, meri- ja öljynkeräysmoodi. [14; 13, s. 11.]

Vaikka laivaa ajetaan yleisesti ottaen erilaisten esiasetettujen ajomoodien kautta, tulisi vuorossa olevan konemestarin osata myös käyttää PMS:ää niin sanotusti käsiajolla siltä varalta, että PMS:n automatiikka pettää.

Tilaaja ja laivaerittely määrittelevät kunkin PMS:n toiminnan eri ajomoodeissa, jonka järjestelmätoimittaja toteuttaa telakan suunnitteluaineiston, eli PMS-selostuksen pohjalta.

Ajomoodien erojen havainnollistamiseksi seuraavissa kappaleissa on esitettyä eri järjestelmätoimittajien ajomoodeja jäänmurtajassa tai huoltoaluksessa, joka toimii neljällä DG:lla.

2.2.2 Satamamoodi

Satamamoodia käytetään silloin, kun ollaan laiturissa, mutta sähköä ei tuoda laivan verkkoon maasyötön kautta. Satamamoodia käytetään lähinnä, kun laivaa valmistetaan lähtöön tai ollaan juuri saavuttu laituriin. [14.]

Esimerkki PMS:n satamamoodin toiminnoista:

- HDG eli satama dieselgeneraattori on kytkettynä verkkoon.
- Jos HDG puuttuu, tavallinen DG on kytkettynä verkkoon.
- Kuormasta riippuva käynnistys on päällä varalla olevalle DG:lle.
- Vikakäynnistys on päällä varalla olevalle DG:lle. [15, s. 22]

2.2.3 Manööveraus-/ohjailumoodi

Ohjailumoodia käytetään, kun lähdetään satamasta, tai tullaan satamaan. Manööverausmoodia käytetään myös kapeissa salmissa, kanavissa tai satamaympäristössä, joissa voidaan yllättäen tarvita laivan koneistolta lisää suorituskykyä, täyttä tehoreserviä. [14.]

Esimerkki PMS:n manööverausmoodin toiminnoista:

- Vähintään kolme DG:ta on kytkettynä verkkoon.
- Propulsiotaulujen kiskokatkaisija on kiinni.
- Kuormasta riippuva käynnistys on päällä varalla olevalle DG:lle.
- Vikakäynnistys on päällä varalla olevalle DG:lle.
- Kuormasta riippuva pysäytys ei ole käytössä.

- Keulathrusterit ovat päällä. [15, s. 22.]

2.2.4 DP-moodi

Dynamic Positioning -moodissa alus pysyy merellä paikallaan ilman ankkureita tai muita kiinnitysvälineitä. DP-ominaisuutta alukselta tarvitaan esimerkiksi pelastus tai palonsammutustehtävissä, sukellustehtävien tukemisessa, kaapelin laskemisessa ja nostureilla operoidessa. [14.]

Esimerkki PMS:n DP-moodin toiminnoista:

- Vähintään kaksi DG:ta on kytkettynä verkkoon, molemmat eri puolille propulsio-
taulujen kiskokatkaisijaa.
- Propulsiotaulujen kiskokatkaisija on auki, ei kuormanjakoa taulujen välillä, mutta samassa taulussa kiinni olevien DG:en välillä se on mahdollista.
- Kuormasta riippuva käynnistys on päällä varalla olevalle DG:lle.
- Kuormasta riippuva pysäytys ei ole käytössä.
- Keulathrusterit ovat päällä. [15, s. 22.]

2.2.5 Merimoodi

Merimoodissa laiva on merellä normaalissa ajotilanteessa. PMS olettaa, ettei mitään yllättävää tule eteen ja ajotilanne on stabiili. [14.]

Esimerkki PMS:n merimoodin toiminnoista:

- Vähintään yksi DG on kytkettynä verkkoon.
- Propulsiokoneisto on käynnissä.
- Kuormasta riippuva käynnistys ja pysäytystoiminto ovat päällä varalla ja käytössä olevalle DG:lle.

- Vikakäynnistys on päällä varalla olevalle DG:lle.
- Jos mahdolliselle keulapotkurille annetaan käynnistyskäsky, vaihdetaan yleensä ensin ajomoodi manööveraukselle. Keulapotkuria ei saa päälle, jos laivan nopeus on liian suuri. [15, s. 22.]

2.2.6 Öljynkeräysmoodi

Nykyaikaiset monitoimialukset ovat hyvin usein varustettu öljyntorjunta ja öljynkeräys valmiuksilla. Öljy kerätään merestä laivan öljynkeräys tankkeihin laivan omalla teknikalla, usein öljynkeräysjärjestelmässä on hydraulikkapumppuja tai hydraulisia nostureita jotka tuottavat suurta kuormaa laivan verkolle. Laivan sähköverkko voi yllättäen kuormitua paljonkin öljynkeräystilanteissa. [12, s. 12.]

Esimerkki PMS:n öljynkeräysmoodin toiminnoista:

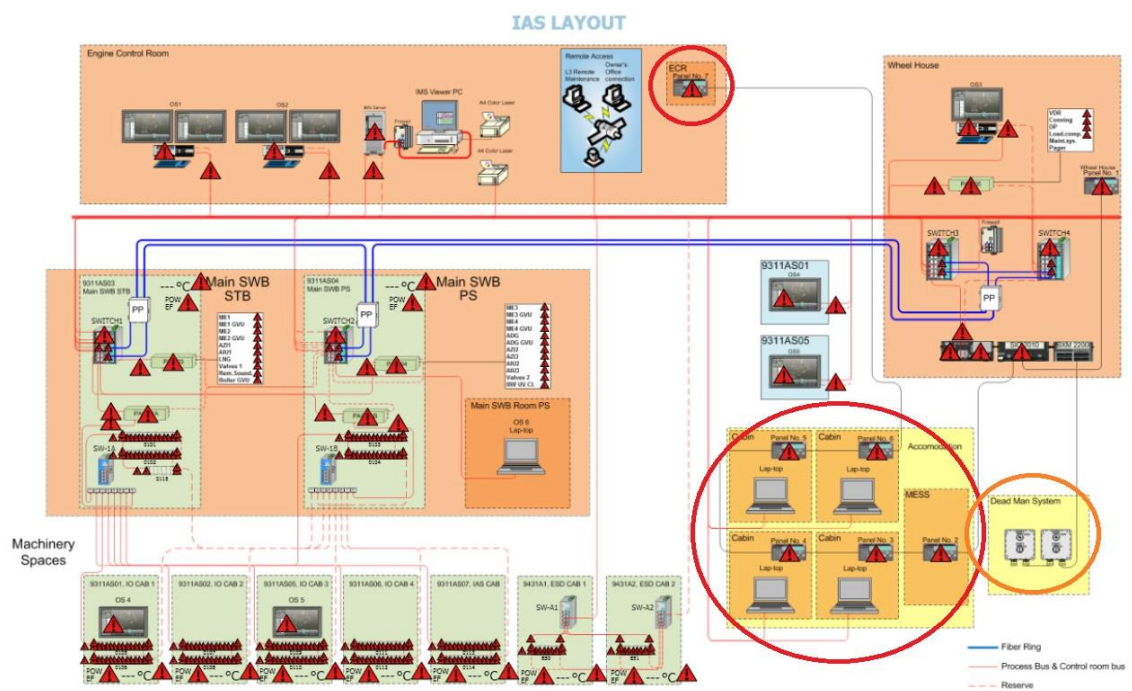
- Vähintään kolme DG:ta on kytkettynä verkkoon.
- Kuormasta riippuva pysäytys ei ole päällä.
- Keulapotkurin käyttö on mahdollista.
- Öljynkeräyshydrauliikan käynnistys on mahdollista. [12, s. 12.]

2.3 Hälytysjärjestelmät miehittämättömän konehuoneen ajoon

Miehittämättömästä konehuoneesta käytetään eri lyhenteitä luokituslaitoksesta riippuen, yleisimmin käytettyjä lyhenteitä ovat UMS tai E0. Jotta aluksella voidaan ajaa ilman miehitettyä konehuonetta, tulee sen täyttää SOLAS:n vaatimukset. Automaatiojärjestelmältä miehittämättömän konehuoneen vaatimusten täyttämiseen tarvitaan hälytysjärjestelmä, jolla vuorossa oleva konemestari tavoitetaan, jos automaatiojärjestelmään tulee hälytys. SOLAS määrittelee rakenteelliset rajoitukset hälytysjärjestelmälle ja vaatii siltä seuraavat toiminnallisuudet: [6, s. 112-113.]

- Järjestelmässä on äänihälytys pääkonehuoneessa tai propulsiokoneiston ohjauspaikassa ja järjestelmästä on nähtävissä visuaalisesti erikseen jokaisen hälytyksen lähde jokaisessa asianmukaisessa paikassa.
- Järjestelmällä tulee olla yhteys konemestareiden yleisiin tiloihin ja jokaisen konemestarin hyttiin valintakytkimen kautta, samalla varmistaen, että vähintään yhteen hyttiin on yhteys päällä kerralla.
- Järjestelmässä tulee olla ääni- ja visuaalinen hälytys sillalle jokaiseen tilanteeseen, joka vaatii vahtimestarilta toiminnan tai kuittauksen.
- Järjestelmän tulee olla suunniteltu niin pitkälle kuin mahdollista vikaturvalliseksi.
- Järjestelmän tulee aktivoida konevahdin hälytysjärjestelmä, mikäli hälytystä ei ole paikallisesti kuitattu määritellyssä ajassa.

Tämän SOLAS:n määritelmän täyttämiseksi käytetään laivoissa nykyään kahta hälytysjärjestelmää. Extended Alarm System (EAS) ja Engineers Watch Call System (Dead Man) on saatavissa omina stand-alone-järjestelminään, mutta nykyään ne ovat hyvin usein upotettuina integroidun automaatiojärjestelmän sisään. Kuvassa 6 on esimerkki layout IAS:ista, jossa sekä EAS, että Dead Man -järjestelmä on integroituna järjestelmän sisään.



Kuva 6. EAS- ja Dead Man -system osana integroitua automaatiojärjestelmää.

Dead Man -hälytysjärjestelmä kytketään päälle, kun vuorossa oleva konemies lähtee suorittamaan konetiloihin yksin työtehtävää. Järjestelmässä lähtee ajastin päälle ja ajastimen loputtua se antaa paikallisen hälytyksen konetiloihin. Jos konetiloissa työskentelevä konemies ei kuittaa paikallista hälytystä tietyn ajan sisällä, laajenee hälytys lopulta IAS- ja EAS-järjestelmään ja aina kaikille konemestareille koko laivaan. Dead Man -hälytysjärjestelmä on siis konetiloissa työskentelevän työmiehen turvallisuutta takaava järjestelmä. [11.]

EAS-järjestelmän avulla IAS:in hälytykset saadaan jatkettua eteenpäin laivan muihin tiloihin HMI-paneeleille, joista käsin voidaan monitoroida laivan hälytyksiä. HMI-paneelit tai järjestelmän hälytyssummerit tulee löytyä tiloista, joissa konemestarit viettävät yleensä aikansa. Näitä tiloja ovat esimerkiksi komentosilta, päivähuoneet, kuntosalit, messit, konferenssitilat ja konemestareiden omat hytit. UMS-tilanteessa järjestelmässä tulee olla aktivoituna vuorossa oleva konemestari. Hälytyksen tullessa IAS:iin, hälyttävät myös vuorossa olevan konemestarin ja sillan paneeli, sekä julkisissa tiloissa olevat paneelit. Jokaisen paneelin hälytyksen voi sammuttaa paikallisesti, mutta hälytys ei kuitaannu, jos konevalvomosta ei kuitata hälytystä. Jos hälytystä ei kuitata määritellyn ajan sisällä konevalvomosta, hälytys laajenee kaikkiin paneeleihin. [11.]

3 Käyttöönotto

Automaatiojärjestelmän käyttöönotolla tarkoitetaan tässä työssä prosessia, jolla järjestelmä saadaan toimimaan siten, että se täyttää laivan tilaajan ja luokituslaitoksen asettamat toiminnalliset vaatimukset. Käyttöönottoprosessi tehdään vaiheittain, ja se alkaa jo valmistajan tehtaalla, jossa järjestelmän tärkeät komponentit testataan tehdaskoeohjelman mukaisesti ennen kuljetusta telakalle.

Automaatiojärjestelmän käyttöönoton voidaan periaatteessa katsoa loppuvan siihen, kun automaatiojärjestelmää koskevat laivan koeohjelmat on suoritettu ilman luokituslaitoksen tai tilaajan huomautuksia. Todellisuudessa laivan pääautomaatiojärjestelmään liittyy kuitenkin niin monia erilaisia järjestelmiä, että vaikka itse automaatiojärjestelmään liittyvät toiminnallisuustestit saadankin hyväksytysti suoritettua, jatkuu automaatiojärjestelmän käyttöönotto muiden järjestelmien kautta aina usein laivan luovutukseen asti.

Laivan sähkön käyttöönoton järjestys yleisesti on:

- maasyöttö
- jakelumuuntajat
- alakeskukset
- moottoriohjauskeskukset
- pääkoneiden käynnistys
- suurten kuluttajien käynnistykset (thrusterit, sähköpropulsio, ilmanvaihto)
- laiturikokeet
- merikokeet [16, s. 4.]

Automaation käyttöönotto laivassa etenee usein käsi kädessä laivan muiden järjestelmien käyttöönoton ja kanssa. Automaatiojärjestelmän tulee olla toiminnassa noin kaksi tai kolme viikkoa ennen kuin pääkoneita käynnistetään, eli tällöin valvomossa tulee olla vähintään yksi näyttö toiminnassa ja generaattorikäynnistystä varten prosessiasema, I/O-asema ja runkoverkko sekä tarvittavilta osin kenttälaitekaapelointi. [11.]

Liitteessä 1 on esitettyä modernin jäänmurtaajan IAS:n kaapelointi ja kytkentäkuva. Kuvassa on korostettu keltaisella värillä, minkä IAS:n kaapelien tulee olla vähintään kaapeloituna ja kytkettynä, jotta pääkoneita voidaan käynnistää. Liitteen sivulta 2 näkee, että molempien prosessiasemien redundanttisten syöttöjen tulee olla kaapeloituna. Liitteen sivulla 3 näkyy, että konevalvomon operointiaseman syöttöjen tulee olla kytkettynä ja hard copy -tulostin tulee olla liitettyä järjestelmään. Sivuilla 4 ja 5 on esitetty prosessiasemien keskinäinen kaapelointi ja yhteydet I/O-keskuksiin. Tässä tapauksessa tarvitaan käyttöön vain I/O-keskus AS08. Liitteen sivulla 6 on yhteydet prosessiasemilta operointiasemien tietokoneille. Tässä vaiheessa otetaan käyttöön vain konevalvomon operointiasema. Liitteen sivulla 7 näkyy prosessiasemien yhteydet koneistojärjestelmiin, tässä vaiheessa yhteydet tarvitaan vain pääkoneisiin. [11.]

Edellä esitetty tilanne ei kuitenkaan ole ihanteellinen lähestymistapa automaatiojärjestelmän käyttöönottoon ja yleisesti ottaen järjestelmien käyttöönottoon laivassa. Usein

tiukat rakennusaikataulut kuitenkin luovat painetta käyttöönottoprosessiin niin, että siinä joudutaan tekemään edellä esitetyn kaltaisia ratkaisuja. [17.]

Tilanne johon laivan rakennuksessa ja käyttöönotossa tulisi pyrkiä, olisi sellainen, missä kaikki generaattorin apujärjestelmät olisivat testattu ja otettu käyttöön keskitetyn automaatiojärjestelmän kanssa ennen varsinaista pääkonestarttia. Näitä apujärjestelmiä ovat esimerkiksi startti-ilma, merivesi-jäähdytys, generaattorin lämmitys- ja jäähdytysvesi, koneilman ilmastointi, voiteluöljy ja polttoaineen syöttö sekä kattila-järjestelmät. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että integroidun automaatiojärjestelmän tulisi olla ensimmäisiä järjestelmiä, joita otetaan laivassa käyttöön. Todellisuudessa usein IAS:n käyttöönottoprosessi laivassa löytyy jostain näiden kahden edellä esitetyn toimintatavan välimaastosta. [17.]

3.1 Käyttöönoton vaiheet

IAS:n käyttöönotto voidaan katsoa alkavan järjestelmäntoimittajan tehdaskokeella. Tehdaskokeen sisältö käsitellään tässä työssä tarkemmin luvussa 4.1 FAT. Yksinkertaisuudessaan tehdaskokeen tarkoitus on sertifioida, että järjestelmä ja sen komponentit toimivat oikein lähtiessään tehtaalta telakalle. [2, s. 202.]

Automaatiojärjestelmän käyttöönotto etenee laivassa tietyssä järjestyksessä. Laivan rakennuksessa ja järjestelmien käyttöönotossa vallitsevat tietyt lainalaisuudet. Järjestelmiä ei voida rakentaa eikä ottaa käyttöön missä järjestyksessä tahansa, ja automaation käyttöönottoon ei laivassa ole todellista oikotietä. Järjestelmään voidaan toki tehdä tilapäisiä kytkentöjä ja sähkönsyöttöjä, jos tilanne niin vaatii, esimerkiksi aikataulupaineiden takia. Mutta loppujen lopuksi kaikki tilapäiset kytkennät joudutaan purkamaan ja tekemään vaadittavat työt ja asennukset oikean asennustavan mukaisesti. Tilapäiset ratkaisut käyttöönottovaiheessa lisäävät siis vain todellista työmäärää, vaikka niiden avulla saataisiinkin helpotettua käyttöönoton aikataulua tilapäisesti. Luokituslaitos ja laivan tilaaja myöskään eivät lähtökohtaisesti hyväksy tarkastustilanteissa minkäänlaisia väliaikaisia järjestelyjä, vaikka järjestelmän toiminnallisuus saataisiinkin esitettyä.

IAS:n käyttöönoton etenemiseen vaikuttaa muiden laivan järjestelmien lisäksi hyvin paljon laivan aluerakentaminen. Jos aluerakentaminen jää rakennusaikataulusta jälkeen, se näkyy usein varsin selvästi myös laivan automaation käyttöönotossa. Tämä korostuu

erityisesti konetiloissa, joissa suurin osa järjestelmien kenttälaitteista sijaitsee, mutta myös sisustustilojen rakentamiseen liittyvät ongelmat heijastuvat laivan IAS:n käyttöönottoon. Aluerakentamiseen liittyvillä pienillä ongelmilla saattaa usein olla käyttöönottoon liittyviä suuria kerrannaisvaikutuksia. Esimerkiksi, jos IAS:n käyttöönotto siirtyy viikolla eteenpäin, se siirtää helposti DG-starttia eteenpäin, tämä viivästyminen saattaa vaikuttaa kuljetuskoneiston käyttöönottoon, jonka viivästyminen puolestaan heijastuu merikokeeseen ja taas aina laivan luovutukseen asti. [17.]

Telakalla automaatiojärjestelmän käyttöönotto alkaa kaapeloinnilla. Kun laivan kaapelirataverkosto on saatu rakennettua valmiiksi, järjestelmän kaapelit vedetään telakan sisäisen kaapeleiden vetojärjestyksen mukaan noudattaen telakan sisäisiä laatuohjeita ja laivaerittelyssä mahdollisesti määriteltyjä sääntöjä. IAS:n redundanttiset kaapelit vedetään laivalla eri reittejä, fyysisen redundanttisuuden takaamiseksi. Samaan aikaan kaapeloinnin kanssa konevarustelu kiinnittää konetiloihin erilaisiin järjestelmiin liittyviä kenttälaitteita sitä mukaa, kun laivan rakennus etenee. Lähtökohtaisesti pienet sähkölaitteet, kuten venttiilit ja anturit, asennetaan kaapeloinnin kanssa samaan aikaan ja herkemmat elektroniset laitteet vasta kytkentävaiheessa. Operointiasemat, prosessiasemat ja I/O-keskukset haalataan paikoilleen, jos niitä ei ole aikaisemmin laivanrakennuksen lohkovaiheessa vielä tehty.

Kaapeloinnissa tulee ottaa huomioon tarvittavat valokuituyhteydet ja kuitukaapeleiden päiden tekeminen. Valokuitukaapelit kiinnitetään kuituhitsaustekniikalla niille tarkoitettuihin liittimiin ja usein sen tekee telakan ulkopuolinen taho, joka myös varmistaa kaapelilyhteyden toiminnan soittamalla kaapelit läpi ennen kaapelipäiden hitsausta. Myös CAT-kaapeleihin RJ-45-liittimen päitä tehdessä työn laatuun tulee kiinnittää erityistä huomiota. Huonosti tehty kaapelin pää saattaa usein hidastaa turhaan järjestelmien käyttöönottoa ja aiheuttaa turhan tuntuista vian etsintää. [18.]

Kun alueen kaapelointivaihe etenee, alkaa automaatiojärjestelmän kytkentävaihe. IAS:n tärkeimmät kytkettävät kokonaisuudet ovat konevalvomon operointiasemat, prosessiasemat ja I/O-keskukset. Kun keskukset ja asemat on kytketty ja keskusten sisäinen asennustarkastus suoritettu, mitataan syöttökaapelin eristysvastus ja keskus voidaan ottaa jännitteiseksi. IAS-startti tapahtuu, kun tärkeimmät prosessiasemien, operointiasemien ja I/O-keskusten kytkennät on saatu siihen pisteeseen, että järjestelmä voidaan sähköistää. Tämän jälkeen alkaa signaalien, säätöjen, järjestelmien ja logiikkapiirien tes-

taus, eli koekäyttövaihe. Todellisuudessa kaapelointi- ja kytkentävaihe jatkuvat vielä pitkälle päällekkäin koekäytön kanssa, sillä IAS-startti pyritään tekemään usein niin aikaisessa vaiheessa kuin vain mahdollista. Koekäyttö etenee aluerakentamisen ja järjestelmien käyttöönoton kanssa.

Kun erillisiä järjestelmiä saadaan valmiiksi, suoritetaan järjestelmän koeohjelman mukaisesti laiturikoe tai merikoe. Laiturikoe on käsitelty tässä työssä luvussa 4.2 ja merikoe luvussa 4.3. IAS liittyy monien muiden laivan järjestelmien koeohjelmiin olennaisesti, mutta IAS:lle on myös olemassa omat laituri- ja merikoeohjelmat. Lisäksi automaatiojärjestelmään upotetuilla erillisillä järjestelmillä, kuten PMS, EAS ja Dead Man, järjestelmillä on omat koeohjelmansa tai ne ovat osa IAS:n koeohjelmaa.

3.2 Automaatiopisteiden testaus

Integroidun automaatiojärjestelmän käyttöönotossa suurin ja työllistävän vaihe on järjestelmän signaalien testaus. Jokaisen järjestelmän automaatiopisteen takana on joko hälytys, mittaus tai ohjelmallinen tilatieto automaatiojärjestelmään. Tämä kaikki informaatio näkyy operointiasemien ruuduilla. Automaatiopisteiden määrä laivoissa vaihtelee laivan tyyppin ja koon mukaan. Modernissa huolto- ja jäänmurtotehtäviin tarkoitettussa aluksessa automaatiopisteitä on 3500–4500 kappaletta, suuressa Oasis-luokan risteilijässä niitä voi olla yli 30 000 kappaletta. [5, s. 28; 19.]

Laivan jokainen automaatiopiste täytyy testata ja todentaa sen toimivuus. Joillakin järjestelmäkomponenteilla tai älykkäillä kenttälaitteilla voi olla useita eri toiminnollisuuksia. Esimerkiksi erilaisilta katkaisijoilta sähkökeskuksilta tulee useita erilaisia tilatietoja tai hälytyksiä IAS:iin ja nämä tulee käydä läpi. Generaattorinkatkaisijalla tai sähköpääkeskukseen kiskokatkaisijalla esimerkiksi voi olla jopa seitsemän eri toiminnollisuutta, jotka tulee testata. Periaatteessa laivan turvallisuuden kannalta kriittisemmiltä kenttälaitteilta tulisi lähtökohtaisesti saada enemmän tietoa IAS:iin kuin muilta kenttälaitteilta. Jos kenttälaitte on ohjattavissa IAS:sta, tulee laitteen ohjattavuus myös testata. Tämänkaltaisia laitteita ovat esimerkiksi osa pumpuista, tuulettimista venttiileistä ja sähkökeskusten katkaisijoista. [11.]

Kun automaatiopisteiden toiminta on järjestelmässä testattu, skaalauksen yhteneväisyys tarkistettu anturin ja käyttöjärjestelmän päästä, sekä mahdolliset hälytysrajat tarkistettu,

kuitataan automaatiopiste tarkastetuksi. Jokaisella telakalla on oma järjestelmänsä, miten automaatiopisteiden tarkastuksia seurataan. Automaatiopisteiden tarkastusmateriaali ei kuulu laivan luovutuspapereihin, jos sitä ei laivaerittelyssä ole niin määritelty. Oman työjärjestyksen selkeyttämiseksi ja ylläpitämiseksi jonkinlaista dokumentaatiota kannattaa automaatiopisteiden tarkistuksista kuitenkin pitää. Jos pöytäkirjaa pidetään, voivat luokituslaitos tai laivan tilaaja halutessaan vaatia tarkastuspöytäkirjaa esitettäväksi heille ja näillä on oikeus pyytää todistamaan pöytäkirjan paikkansapitävyys esittämällä niille niiden valitsemiensa automaatiopisteiden toiminta. [11.]

3.2.1 Hardware-pisteet

Laivan automaatiopisteistä suuri osa on edelleen hardware-signaaleja, eli kenttälaitetolta anturin lähettämä signaali tulee suoraan I/O-keskuksen kortille ja siitä prosessiase- man kautta tieto tulee kenttäväylää pitkin operointiasemalle. I/O-kortit lukevat erilaisia signaalityyppejä. Signaalityyppi riippuu taas anturista, mitattavasta kohteesta ja siitä, minkälaista tietoa kentältä halutaan IAS:iin.

Yleisimpiä signaalityyppejä I/O-korteille ovat digitaaliset ja analogiset signaalit, mutta jonkin verran käytetään myös suoraan vastusarvoa lähettäviä signaaleja jolloin I/O-kortti lukee vastusarvon suoraan anturilta. Esimerkiksi PT-100-lämpötilalähettimien kanssa toimitaan joskus näin, silloin lämpötila-anturin ja I/O-kortin välissä ei ole erillistä R/I-muunninta. [18.]

Analoginen signaali on laivassa usein 4–20 mA:n viesti, jolloin anturilta lähtevä tieto näkyy IAS:ssa esimerkiksi lukuarvona, jonka skaalan alaraja tarkoittaa 4 mA:n viestiä ja yläraja 20 mA:n viestiä tai toisinpäin. Jos I/O-kortille tulee anturilta alle 4 mA:n tai yli 20 mA:n viesti, näkyy se valvomossa kenttälaitteen virhetietona. Analoginen signaali voi olla myös järjestelmästä lähtevä viesti kenttälaitteelle, jolloin se ohjaa tai säättää toimilaitetta annetun viestin mukaisesti. [18.]

Digitaalinen signaali tulee analogisen signaalin tavoin anturilta suoraan I/O-kortille tai lähtee I/O-kortilta kenttälaitteelle. I/O-kortti lukee digitaalista tietoa jänniteviestistä, tietyn rajan alapuolella oleva jännite tulkitaan nollana ja rajan ylittävä jännite taas yhtenä. Digitaalissilla signaaleilla viestitään tilatietoa, hälytyksiä ja kytkinten rajoja. Digitaaliset signaalit voivat olla joko normaalisti auki olevia NO-tyyppisiä signaaleja tai normaalisti kiinni

olevia NC-tyyppisiä signaaleja. NC-signaaleja käytetään hälytyksissä, jolloin signaali-
viestin katkeaminen aiheuttaa hälytyksen. NO-signaalit indikoivat tila- ja suoja-toimintoja.
[18.]

Laivassa käytetään luonnollisesti hyvin paljon erityyppisiä antureita erilaisten asioiden
mittaamiseen. Laivan eri anturityyppejä ja niiden testaustapoja ei käydä tässä insinööri-
työssä tarkemmin läpi niiden laajuuden vuoksi. Yleisesti ottaen voidaan kuitenkin todeta,
että antureiden toiminta on todennettava, jotta se voidaan olettaa toimivaksi. Joskus
tässä joudutaan käyttämään niin sanottua järkevyystarkastelua. Esimerkiksi tilanteessa,
jossa tankkiin on asennettu yleisesti laivoissa käytetty Mobrey-uimurikytkin ja anturi kyt-
ketään tankin ulkopuolelta vasta sen jälkeen, kun tankki on täytetty nesteellä. Tämän
kaltaisessa tilanteessa, jos uimurin testivipu puuttuu ja uimuria on mahdoton mennä lii-
kuttamaan, anturin indikoimaa tilatietoa voidaan verrata tankissa olevaan nesteen mää-
rään ja tutkia anturin tilatietoa järkevyystarkastelun kautta sekä todeta sen toimivuus.

Jokaisen anturin yhteys tulisi kuitenkin testata IAS:iin asti vähintäänkin irrottamalla kyt-
kentä tai oikosulkemalla se, riippuen anturin toiminnasta. Tällöin nähdään, että signaalin
toiminta on haluttua ja se tulee oikeasta järjestelmästä oikealle kortille ja kanavalle. [18.]

3.2.2 Sarjaliikennepisteet

Laivan automaatioissa käytetään hardware-signaalien lisäksi sarjaliikennettä erilaisten
järjestelmien ja älykkäiden toimilaitteiden liittämiseksi IAS:iin. Usein nämä järjestelmät
ovat suurempia kokonaisuuksia ja niille tulee järjestelmätoimittajan puolelta edustaja ot-
tamaan järjestelmää käyttöön ja tarkistamaan sarjaliikenteen rajapinnan toimivuutta
IAS:in kanssa. Järjestelmien välistä rajapintaa IAS:in kanssa olisi käyttöönoton kannalta
hyvä kokeilla etukäteen tehdaskoetyylisesti automaatiotoimittajan tiloissa. Laivassa mo-
nesti menee eri järjestelmien sarjaliikenteen käyttöönottoon turhan paljon aikaa. [11.]

Hyviä esimerkkejä sarjaliikennettä käyttävistä laivan järjestelmistä ovat esimerkiksi kul-
jetuskoneisto-järjestelmät, DG:t, kauko-ohjatut venttiilit, urea-katalysaattorit, tankkien
kaukopeilaus- ja aluksen vakavuuslaskentajärjestelmä. Järjestelmätoimittajien käyttöö-
ottajien ollessa paikalla on suotavaa, että myös IAS:n ohjelmistoasiantuntija on paikalla,
jotta järjestelmien väliset rajapinnat ja niiden toimivuus saadaan varmistettua molempien
järjestelmien puolesta. [11.]

Sarjaliikennettä käytävällä järjestelmällä on usein omat yksikkönsä tai keskuksensa järjestelmän antureille ja signaalitiedoille. Järjestelmän omalta I/O-yksiköltä tai prosessiohjaimelta järjestelmän tiedot tuodaan kenttäväylää pitkin IAS:n prosessiohjaimille.

Kuvassa 7 on esimerkki järjestelmätoimittajan sarjaliikenteen signaalintarkistuslistasta. Kuvassa on esitetty vain muutama signaali, koska todellisessa tarkistuslistassa signaaleja saattaa olla satoja. Sarjaliikenteen toimivuus IAS:iin voidaan esimerkiksi tarkistaa siten, että järjestelmätoimittaja simuloi omasta järjestelmästäan signaalitietoa ja sen toiminta tarkastetaan operointiaseman ruudulta. Kuvan 7 esimerkissä on käytetty Modbus RTU-sarjaliikenneprotokollaa ja RS485-tiedonsiirtomenetelmää. Telakan omassa järjestelmässä kullakin toiminnolla on oma tag-numero, jolla toiminnon löytää IAS:sta. Järjestelmätoimittaja käyttää simulointiin kuitenkin suoraan toiminnon signaalitunnusta, eli tässä tapauksessa Modbus-osoitetta. Tietoa lähettävän anturin tyyppi näkyy listassa, jos se tieto on oleellista toiminnan kannalta. Signaalinen nimi tulisi olla sama järjestelmätoimittajalla kuin IAS:ssa epäselvyyksien välttämiseksi. Mahdollisen anturin mitta-alueen ja skaalauksen kohdalla tulee tarkistaa, että ne ovat IAS:n tietojen kanssa yhteneviä. Signaalin toiminnan kuvaus tulee myös olla yhtenevä IAS:n tiedon kanssa. Huomautussarakkeessa nähdään kuvassa 7 hyvin, miten sarjaliikenteellä toimivalla järjestelmällä voidaan kerätä hälytyksiä yhteen ja lähettää vain yksi yleinen hälytys IAS:iin. Näin tehdään, jotta IAS:n näytölle saataisiin vähemmän päällekkäistä tietoa ja loppukäyttäjällä olisi kaikki oleellinen tieto saatavilla. Yleisiä hälytysryhmiä voidaan tehdä myös kustannussyistä, ja automaatiopisteiden määrää saadaan näin laskettua. Todellinen hälytyksen aiheuttaja on kuitenkin aina luettavissa järjestelmän omalta keskukselta tai mahdolliselta HMI-paneelilta. [20.]

Yard Tag	Signal ID	Sensor ID	Signal name	Type	Range	Scale	Function	MB master address	Bit no	Note
8222X_15	Modbus-ID40053_15		Steering pump P1 low oil level alarm	Integer			Alarm	40053	B15	
8222X_08	Modbus-ID40054_0		P2 General Alarm	Integer			Alarm	40054	B0	Combined alarm: Drain filter P2 alarm, P2 in local, P2 oil temperature high, booster filter P2
8222X_14	Modbus-ID40054_1		Steering pump P2 power fault	Integer			Alarm	40054	B1	

Kuva 7. Esimerkki sarjaliikenteen signaalintarkistuslistasta [20]

Kaikkia sarjaliikenteellä toimivia järjestelmiä ei kuitenkaan käydä välttämättä läpi edellä esitellyn kaltaisen tarkistuslistan kanssa käyttöönottoprosessin aikana. Esimerkiksi laivan moottoriohjatut venttiilit toimivat sarjaliikenteellä, koska niiden määrä on niin suuri, että se on helpompi hallita sarjaliikenteellä. Moottoriventtiilien ohjaus on toteutettu usein binäärisellä signaalilla, jolloin venttiililtä saadaan takaisinkytkennän kautta IAS:iin venttiilin tilatieto. Jos kyseessä on säätöventtiili, ohjataan sitä analogisella signaalilla ja takaisinkytkentä kertoo IAS:iin venttiilin asentotietoa. [3, s. 24.]

Moottoriohjattuja venttiileitä pystytään ajamaan paikallisesti venttiiliohjauskeskuksista. Kun venttiiliohjauskeskuksista on saatu sarjaliikenneyhteys rakennettua IAS:n prosessiohjaimelle, voidaan venttiilit ottaa käyttöön sitä mukaa kun niiden kytkentätyöt etenevät. Venttiilien paikallisohjaus tarkastetaan kaapista ja tämän jälkeen operointiasemalta, venttiilin tilatieto tarkastetaan fyysisesti venttiilin luona, että se vastaa IAS:n ja venttiiliohjauskeskuksen tilatietoa. [18.]

3.2.3 Ohjelmalliset pisteet

Ohjelmallisia pisteitä IAS:ssa ovat erilaiset hälytykset ja lukitukset. Samoin kuten muutkin IAS:n toiminnot myös näiden toimivuus tulee todentaa osana järjestelmän käyttöönottoprosessia. Hälytyksiä on IAS:ssa kahdenlaisia, ohjelmallisia hälytyksiä ja anturin tilatietoina tulevia hälytyksiä, kuten esimerkiksi yläraja- ja alarajahälytyksiä tankeista. Nämä signaalit indikoivat normaalia tilaa, kunnes raja ylittyy ja anturilta tulee järjestelmään tieto tilan muutoksesta. Nämä hälytykset ovat kuitenkin anturilta tulevia kärkitietoja ja ne eivät ole ohjelmallisia hälytyksiä. Ohjelmalliset hälytykset ovat käyttöliittymästä löytyviä hälytysrajoja analogisille signaaleille, esimerkiksi virtauksen, paineen tai lämpötilan mittauksessa. Jos anturissa on ohjelmallinen hälytys, voidaan kytkennän jälkeen hälytysrajaa hetkellisesti muuttamalla todeta hälytyksen toiminta. [11.]

Järjestelmän lukitukset toteutetaan myös ohjelmallisina pisteinä. PMS:ssä on tärkeimmät lukitukset toteutettu fyysisesti propulsiotaulusta, mutta samojen lukitusten tulisi olla myös IAS:n logiikassa lukitusten varmistamiseksi. Lukituksilla tarkoitetaan ohjelmiston toimintaa, missä se estää operaattoria toteuttamasta tiettyjä järjestelmän toimintoja. Esimerkiksi IAS estää operaattoria aiheuttamasta sähkökatkoa laivan verkkoon operointiasemalta. Jos propulsiotaulussa on vain yksi generaattori kiinni, niin viimeistä käytössä olevaa generaattoria ei saa automaation avulla pois verkosta, vaan se täytyy tehdä käsin avaamalla generaattorikatkaisija.

Lukitusten testaaminen on järjestelmässä sikäli yksinkertaista, että saatetaan järjestelmä tilaan, jossa siihen tulee lukituksia, tarkastetaan, näkyvätkö ne näytöllä ja antaako järjestelmä toimia lukitusten vastaisesti. [11.]

Ohjelmallisiksi pisteiksi lasketaan myös IAS:n supressoidut toiminnot. Supressoinnilla tarkoitetaan hälytysten vaimentamista. Esimerkiksi joissakin tilanteissa hälytystä tarvitaan vain erikoisolosuhteissa, esimerkiksi öljyntorjuntatilanteissa. DG on jo sammutettu, voidaan jälkilämpöjen kohoamisesta aiheutuvat hälytykset myös supressoida, jolloin vältetään turhilta hälytyksiltä. [11.]

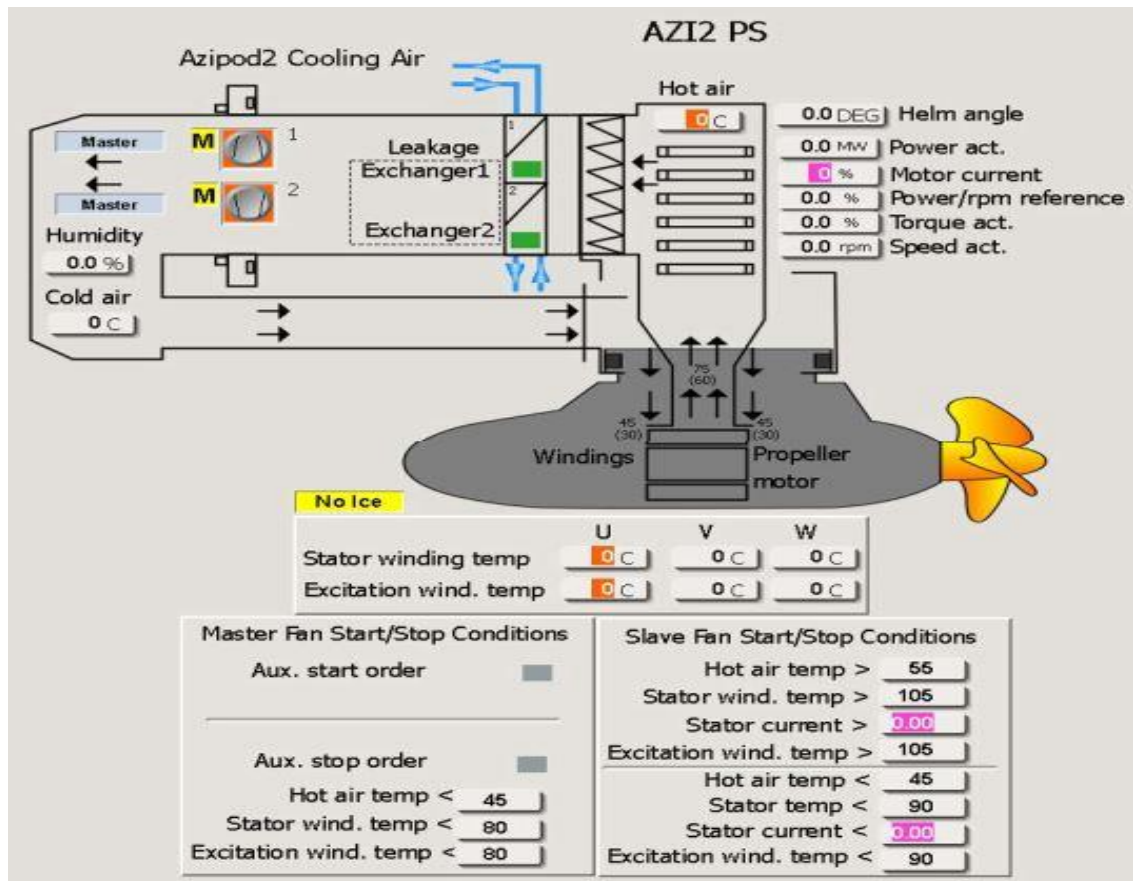
3.3 Logiikoiden testaus

Signaalien testaus IAS:ssa on työläin käyttöönoton vaihe, logiikoiden testaus puolestaan on yksi tärkeimmistä järjestelmän käyttöönottoon liittyvistä tehtävistä. Osa järjestelmän signaaleista indikoi vain tilatietoa operaattorille, mutta osa signaaleista liittyy erilaisiin järjestelmän sisäisiin ohjauksiin ja säätöpiireihin. Jos signaalit eivät tule järjestelmään oikein, eivät järjestelmän sisäiset logiikat myöskään välttämättä toimi oikein. Esimerkiksi laivan koneistojärjestelmät sisältävät erilaisia pumppuja, puhaltimia ja venttiilejä, jotka saavat ohjauksensa koneistojärjestelmän sisäisiltä antureilta, kuten painemittaukselta, pinnankorkeusmittaukselta tai toisen laitteen tilatiedon kautta. [3, s. 23]

IAS:ssa törmää useimmin säätöpiiri- ja stand by -logiikkoihin, jotka käsitellään erikseen seuraavissa luvuissa. Järjestelmä sisältää kuitenkin yksittäisiä monimutkaisempia logiikkaohjauksia, joista esimerkiksi polttoaineen separointi ja kuljetuskoneiston ilmajäähdytys ovat hyviä esimerkkejä.

Polttoaineen separoinnissa polttoainetta ajetaan automaattisesti tankeista toiseen tankkien rajakytkinten ohjaamalla tiedoilla. Azipodin ilmajäähdytys on periaatteessa hieman monimutkaisempi lämpötilansäätöpiiri. Kuvassa 8 on esiteltyä ilmajäähdytyksen logiikka. Azipodissa on kaksi eri jäähdytyspuhallinta, jotka asetetaan automaattiasentoon, toinen tuulettimista on master ja toinen slave.

Azipodin ilmajäähdetyksessä kaksi puhallinta puhaltaa kylmää ilmaa Azipodin propellin moottoriin ja käämeihin. Täältä kuuma ilma ohjataan takaisin ylös suodattimen läpi lämmönvaihtimeen, jossa ilma jäähdytetään taas tarpeeksi kylmäksi. Näin järjestelmälle syntyy kiertävä ilmajäähdetyspiiri, jota IAS:n logiikka ohjaa.



Kuva 8. Esimerkki Azipodin ilmajäähdetyspiiristä [14]

Master-puhallin käynnistetään konevalvomom paneelista nappia painamalla tai ohjaamalla sitä IAS:sta. Puhallin voidaan sammuttaa manuaalisesti, mutta se sammuu myös, jos sitä ohjaavat lämpötilat eli kuuma ilma-, staattorin- tai magnetoinnikkäämin lämpötilat laskevat tarpeeksi alas. Slave-asennossa olevaa puhallinta ohjaa myös edellisten lämpötilojen lisäksi Azipodin staattorin virta. Jos yksikin edellä mainituista arvoista nousee yli slave-puhallimen käynnistysrajan, lähtee puhallin myös käyntiin, jolloin ilmajäähdetyksen teho kaksinkertaistuu. Puhallin on käynnissä, kunnes viimeinenkin puhallinta ohjaava arvo on laskenut slave-puhallimen sammutusrajan alapuolelle.

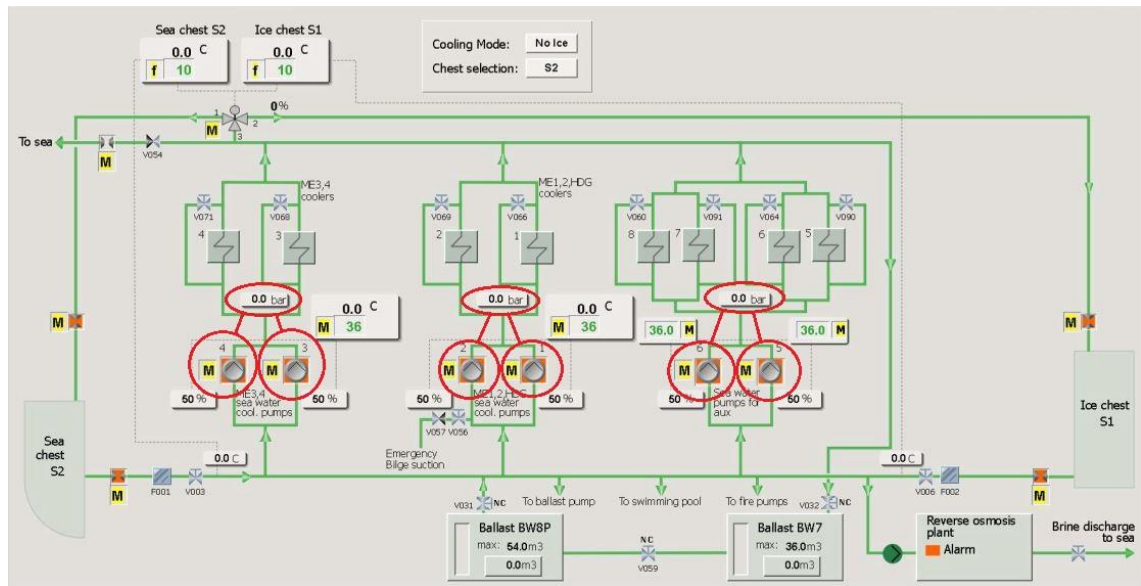
3.3.1 Stand by -logiikka

Pumppupareja tulee laivassa käyttää vaatimusten mukaan turvallisuuden kannalta tärkeissä järjestelmissä. Pumppuparin perusajatus on se, että pumput ovat putkilinjassa rinnakkain ja tärkeän pumpun toiminta on saatettu näin redundanttiseksi. Pumppujen redundanttisuuteen liittyen myös pumppuparien pumput on jaettu eri prosessiasemille ja pumppuparin sähkön syötöt tulevat eri sähkökeskuksista. Tämä siksi, että hätätilanteesakin pumppujen toiminta ja ohjaus on turvattu. [3, s. 23.]

Toinen pumpuista käy normaalitilanteessa, toinen pumppu on stand by -asennossa, eli varalla. Jos pumppu on esimerkiksi paikallisohjauksella, eli local-asennossa, ei se lähde käyntiin logiikalta tulevan viestin mukaisesti. Pumppuparien logiikkaa valvotaan ja ohjataan paineanturilla, joka on sijoitettu putkilinjassa paineen puolelle, pumppuparin jälkeen, ennen suuntaventtiiliä. [3, s. 23.]

Kun paineanturi havaitsee paineen alenemisen putkessa ja se saavuttaa IAS:ssa määritellyn ohjelmallisen hälytysrajan tai joissain tapauksissa käytössä olevan niin sanotun stand by -käynnistys-rajan, tulkitsee logiikka pumpun hajonneen ja käynnistää varalla olevan pumpun ja sammuttaa vialliseksi tulkitsemansa pumpun. Tästä toiminnasta IAS:iin tulee aiheutua hälytys paineen alenemisesta, stand by -pumpun käynnistymisestä ja siitä, ettei stand by -pumppua ole enää käytettävissä. [3, s. 23.]

Stand by -pumpun käynnistys tapahtuu myös, jos IAS havaitsee pumppuparin aktiivisen pumpun tilatiedossa muutoksen. Tilatieto saadaan pumpun palautesignaalin automaatiojärjestelmään.



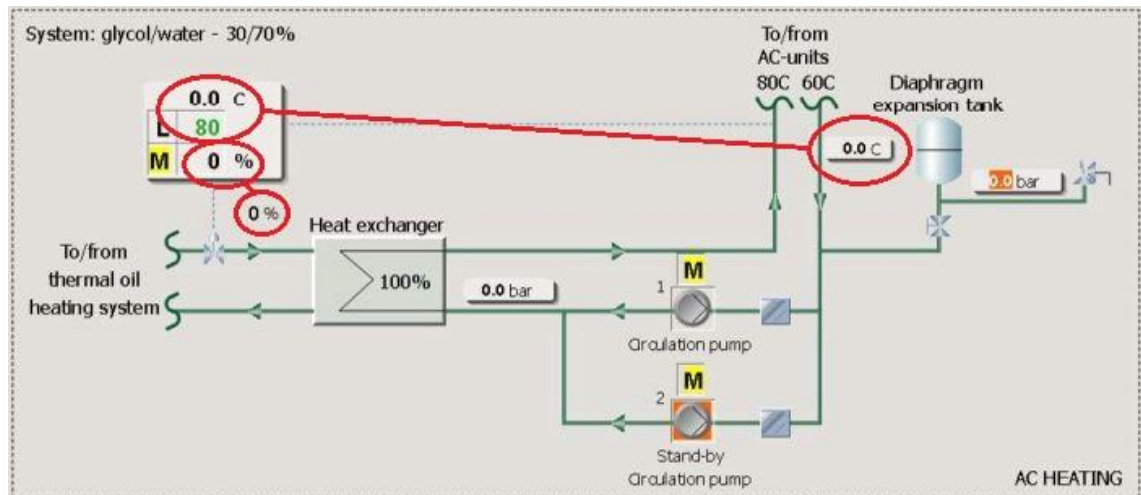
Kuva 9. Esimerkki stand by -pumppujen logiikkaohjauksista merivesijäähdytyksessä. [14]

Kuvassa 9 on ympyröity punaisella värillä laivan merivesijäähdytys-kuvasta pumppuparit ja niitä ohjaavat painelähtimet. Tässä tapauksessa merivesijäähdytys on jaettu laivassa kolmeen erilliseen jäähdytyspiiriin, kaksi generaattoria per piiri ja muulle jäähdytykselle oma jäähdytyspiiri. Jokaisesta jäähdytyspiiristä huolehtii oma pumppuparinsa.

3.3.2 Säätiipiiri -logiikka

Laivassa käytetään yleisesti säätiipiirejä esimerkiksi lämpötilan ja pinnankorkeuden säädoissä. Lämpötila-anturit ohjaavat puhaltimia, pumppuja tai venttiileitä ja pintakytkimet taas venttiileitä tai pumppuja.

Säätiipiirejä on laivassa hyvin erilaisia, yksinkertaisimmillaan esimerkiksi pinnankorkeuden säätiipiiri toimii pilssijärjestelmissä, joissa pilssin uimurikytkimen ylärajahälytys aiheuttaa pilssipumpun käynnistymisen ja pilssiventtiin avautumisen. Pumppu sammuu ja venttiili menee kiinni, kun pilssianturi lakkaa hälyttämästä ja pumpulle määritelty jälki-käyntiaika on kulunut loppuun.



Kuva 10. Lämpötilansäätöpiirin logiikkaohjaus esimerkki laivan ilmastoinnin lämmityksestä. [14]

Lämpötilansäätöpiiristä on hyvä esimerkki kuvassa 10. Lämpötilansäätö voidaan toteuttaa auto- tai manuaaliohjauksella. Manuaaliohjauksella säädetään venttiilin asentoa. Asentotieto näkyy venttiilinojauksessa aukioloprosentteina. Venttiililtä tuleva feedback-signaali näkyy ohjauksen alapuolella, näin voidaan seurata venttiilin asentoa ja ohjausta reaaliajassa.

Auto-ohjauksella venttiilille asetetaan tavoitearvo eli set point. Venttiiliä ohjaa kentältä lämpötilaa mittaava anturi, joka lähettää lämpötilatietoa venttiilin toimilaitteelle. Toimilaitte säättää venttiiliä haluttuun suuntaan.

Lämpötilansäätöpiirit toteutetaan PID-säätimillä, joilla ohjataan venttiileitä, pumppuja tai puhaltimia. PID-säätimen reagointi aikaa, nopeutta ja voimakkuutta kuvaavia arvoja pystytään muuttamaan IAS:sta ja säädön vaikutuksia pystytään tutkimaan trendi-ikkunoista. [3, s. 24.]

3.3.3 PMS -logiikat

PMS:n tärkeimmät toiminnot on tässä työssä käsitelty jo luvussa 2.2.1 PMS. Luvussa 4.1.3 PMS FAT ja 4.3 Merikoe, käsitellään PMS:n logiikkaohjausten toimintoja. Logiikkaohjausten on toimittava laivassa samalla tavalla kuin ne toimivat tehdaskokeessa. Liiallisten toistojen välttämiseksi PMS-logiikoiden testausta ei käydä tässä luvussa syvemmin läpi.

PMS-logiikoiden toimivuus on kuitenkin testattava ja harjoitettava ensin sisäisesti, ennen varsinaisiin laiturij- ja merikoeohjelmiin siirtymistä. Logiikoita testatessa kannattaa mukana testaamassa olla järjestelmätoimittajan ohjelmistoasiantuntija, jotta logiikkaohjausten toimivuus saadaan diagnosoitua mahdollisimman tarkasti.

4 Koeohjelmat

Laivan järjestelmien käyttöönottoon liittyy olennaisena osana koeohjelmien mukaiset tarkastukset. Koeohjelmien tarkoituksena on varmistaa, että järjestelmän toiminnollisuus noudattaa luokituslaitoksen säännöksiä ja laivaerittelyä. Koeohjelmia on kolmea erilaista, tehdaskokeita, laiturikokeita ja merikokeita.

Kaikilla laivan järjestelmillä ei ole kaikkia koeohjelmia. IAS:lla kuitenkin on, sillä se tulee yhdeltä järjestelmätoimittajalta, joten tehdaskoe voidaan suorittaa järjestelmätoimittajan tiloissa. Osan järjestelmän toiminnoista pystytään näyttämään laivan ollessa telakalla ja osa järjestelmän toiminnoista joudutaan esittelemään merellä.

Telakka tai järjestelmätoimittaja tekee järjestelmälle koeohjelman ja hyväksyttää sen luokituslaitoksella ja laivan tilaajalla. Tehdaskoe järjestetään toimittajan tehtaalla, IAS:n tehdaskokeen pystyy suorittamaan yhdellä tehdasvierailulla. Kun järjestelmästä pystytään esittelemään laivalla koeohjelmien mukaisia kokonaisuuksia, suoritetaan järjestelmälle myyntitarkastus, johon osallistuvat telakan järjestelmävastaava, luokituslaitoksen edustaja ja tilaajan edustaja sekä mahdollisesti järjestelmätoimittaja.

Järjestelmätoimittaja ja luokituslaitos voivat tehdä myyntitarkastuksen aikana järjestelmästä huomautuksia, jotka tutkitaan, suoritetaan huomautuksen vaatimat toimenpiteet, tai esitetään vasta-argumentti huomautukselle. Koeohjelma on suoritettu, kun huomautusraportista ja koeohjelmien kaikista kohdista löytyy tilaajan ja luokituslaitoksen edustajien allekirjoitukset. Erittäin tärkeää myyntitarkastusten onnistumisen kannalta on kuitenkin se, että järjestelmien toiminnan tarkastaa itse ensin, ennen varsinaista myyntitarkastusta.

4.1 Tehdaskoe, Factory Acceptance Tests (FAT)

Tehdaskokeen tarkoitus on sertifioida, että IAS ja sen komponentit toimivat oikein lähtiessään tehtaalta telakalle. IAS on järjestelmänä niin laajalle levinnyt laivassa, että sen toiminnan testaaminen on huomattavasti tehokkaampaa järjestelmätoimittajan tiloissa. Vaikka koko laivan verkko ja järjestelmän sisäiset yhteydet on rakennettu tehdaskokeessa juuri todellista tilannetta vastaavaksi, ovat kaikki operointiasemat, prosessiaseimat, HMI-paneelit ja I/O-keskukset lähekkäin eikä aikaa kulu siirtymisiin, kuten laivassa. Kontrollien siirtäminen operointiasemien välillä on myös saumatonta, kun kaikki komponentit ovat samalla pöydällä. [2, s. 200.]

IAS:n tehdaskoe sisältää kolme erilaista koeohjelmaa itsessään. Softwaren ja hardwaren testaamiseen on oma koeohjelmansa ja lisäksi PMS:lle tarvitaan oma koeohjelmansa. EAS- ja Dead Man -järjestelmät voi olla sisällytetty ohjelmiston tehdaskoeohjelmaan, jos ne ovat muutenkin integroituna järjestelmään. [14.]

4.1.1 Software FAT

IAS:n softwaren eli ohjelmiston tehdaskokeessa käydään läpi ohjelmiston keskeisimmät toiminnot. Alla on esiteltyä, minkälaisia asioita järjestelmän ohjelmistosta tarkastetaan järjestelmän tehdaskokeessa. Kuva 11 on otettu Valmetin tehtaalta IAS:n softwaren tehdaskokeesta.



Kuva 11. IAS:n softwarin tehdaskoe, EAS-paneelit ja operointiasemat rivissä. Järjestelmän pääkomponentit testataan järjestelmätoimittajan tiloissa.

Binäärisignaalin hälytys ja hälytyksen maskaaminen. Valitaan järjestelmästä binäärisignaali, simuloidaan sille hälytys, testataan viivästetyn hälytyksen toimintaa ja hälytyksen maskaamista, jolla tarkoitetaan signaalin saattamista tilaan, jossa se ei aiheuta hälytystä. [21, s. 6.]

Binäärisignaalin hälytystesti toistetaan analogiselle signaalille. Tällöin signaali simuloidaan normaali tilaan ja muutetaan hälytysrajaa siten, että saadaan aktiivinen hälytys järjestelmään. Kaikki järjestelmän hälytykset tarkistetaan, että ne näkyvät sekä järjestelmän näyttökuvassa, että hälytyssivulla. [21, s. 7.]

IAS-ohjattujen venttiilien toiminta testataan järjestelmässä avaamalla ja sulkemalla simuloituja venttiileitä. Järjestelmän hälytykset testataan antamalla venttiilille avautumiskäsky, mutta venttiilin päästä ei simuloida venttiilin auki-tietoa takaisin järjestelmään. Näin järjestelmä tulkitsee, ettei venttiili avautunut käskystä huolimatta, ja aiheuttaa hälytyksen. [21, s.8]

Stand by -pumppujen toiminta logiikka testataan asettamalla pumppuparista toinen automaatti asentoon ja toinen stand by -asentoon. Pumppuja ohjaavan painelähettimen painetieto simuloidaan hälytysrajan alapuolelle, jolloin logiikka tulkitsee, ettei käynnissä oleva pumppu tuota putkilinjastoon tarpeeksi painetta. Tästä aiheutuu hälytys, jonka jälkeen stand by -pumppu käynnistyy. Pumpun käynnistymisen jälkeen viallinen pumppu sammuu. [21, s. 9.]

Pumppujen toiminta black out-tilanteessa testataan simuloimalla pumppu järjestelmästä päälle. Pumppua syöttävään verkkoon simuloidaan black out, jolloin pumppu sammuu. Simuloitu black out-signaali otetaan pois, jolloin pumppu käynnistyy uudelleen määritellyn uudelleenkäynnistysajan jälkeen. [21, s. 10.]

Säätimen testaus tehdään muuttamalla venttiilin säätöpiirin asetusarvoa, kun säädin on manuaaliohjauksella. Säädin käännetään automaattiasentoon ja seurataan säätöpiirin toimintaa. Prosessissa säädettävän muuttujan arvoa muuttamalla säätöventtiin analogisen lähtösignaalin pitäisi muuttua riippuen siitä, mihin suuntaan muuttujan arvoa säädetään. [21, s. 11.]

EAS-järjestelmän ohjelmiston tehdaskokeessa järjestelmä kytketään päälle ja yhteydet testataan jokaiseen paneeliin. Vahtivuoron vastuuta ja vuoron vaihdon toiminnot testataan siirtämällä komentosillalle ja kytkemällä UMS-tila päälle järjestelmään. Konemestareiden paneelien toiminta ja vuoron vaihdot käydään läpi. Järjestelmän toiminta testataan simuloimalla hälytys järjestelmään. Hälytykset sammutetaan paikallisesti julkisten tilojen paneeleista mutta ei konevalvomosta. Määritellyn ajan kuluttua hälytys toistuu kaikissa paneeleissa, sitä ei voida paikallisesti enää sammuttaa, vaan hälytys joudutaan kuittaamaan konevalvomosta. [21, s. 12-13.]

Dead Man -järjestelmän toiminta käydään läpi laittamalla se päälle joko avainkytkimestä tai simuloimalla hälytys, kun järjestelmä on UMS-tilassa. Järjestelmä antaa esihälytyksen etukäteen määritellyn ajan kuluttua. Jos sitä ei kuitata kuittauspainikkeista määritellyn ajan kuluttua, aiheuttaa järjestelmä hälytyksen IAS:iin. [21, s. 14.]

Järjestelmän toimintaa eri operointiasemilla testataan vaihtamalla järjestelmän ohjausvastuuta operointiasemien välillä. Testissä suoritetaan aikaisemmin testissä mainittuja toimintoja, kuten pumppujen ja venttiilien ohjausta ja hälytysten simuloiteja. Jos järjes-

telmän ohjausvastuu on sillalla, ei järjestelmää voi operoida konevalvomosta ja toisinpäin. Jos ohjausvastuuksi vaihdetaan salasanalla suojattu hätäohjaus vastuu, pystytään kaikilla operointiasemilla ohjaamaan järjestelmän toimintoja. [21, s. 15–16.]

Laitteiston redundanttisuuden toiminta ja diagnostiikan testaaminen kuuluvat myös ohjelmiston tehdaskoeohjelmaan. Testissä irrotetaan järjestelmästä ja kytketään takaisin vuoron perään verkkokaapeli, I/O-kortti, kenttäväyläkaapelit aktiivisesta ja passiivisesta prosessiasemasta sekä operointiasemasta. Myös prosessiasemat, operointiasemat, kytkinten väliset valokuitukaapelit irrotetaan järjestelmästä. Järjestelmän diagnostiikkaa ja hälytyksiä seurataan ja redundanttisuuden ansiosta järjestelmä pitäisi pysyä toimintakuntoisena testin aikana. [21, s. 17–18.]

4.1.2 Hardware FAT

IAS:n hardwaren eli laitteiston tehdaskokeen tarkoitus on todeta, että järjestelmän pääkomponentit toimivat tehtaalta lähtiessään oikein ja komponentit ovat yhteneviä määrittelyn ja niitä koskevien piirustusten osalta. Mahdolliset muutokset tai viat laitteissa kirjataan ylös ja käydään läpi toimittajan kanssa myöhemmin sovittuna ajankohtana. [22, s. 4.]

Laitteiston tehdaskokeessa kaikki I/O-keskukset käydään läpi, laitetaan niihin virrat päälle ja tarkastetaan, että ne toimivat normaalisti ja kaikki keskusten pääkomponentit, kuten virtalähde, maavuodon valvonta ja I/O-räkit ovat päällä. Keskukset tarkastetaan, että ne vastaavat keskuksien rakenne- ja komponenttipiirustuksia. [22, s. 5–6.]

Tarkastetaan, että prosessiasemien pääkomponentit vastaavat määrittelyä ja piirustuksia. Prosessiasemaan kytketään virta päälle ja tarkastetaan keskuksen normaali toiminta ja pääkomponentit, kuten virtalähde, prosessiohjaimet, kytkimet, mahdollinen palomuri ja I/O-räkit ovat päällä. [22, s. 7.]

Olenainen osa keskuksia tarkistaessa on myös tarkistaa niiden rakenteet käytettävyyden kannalta. Laitteiston tehdaskokeessa voidaan vaikuttaa vielä komponenttien sijoitteluun keskuksen sisällä ja mekaanisiin asennustapoihin. Tehdaskokeessa keskuksia tulee tarkastella kriittisesti loppukäyttäjän sekä keskuksen kanssa työskentelevän henkilön kannalta. Näiden arviointien tekemiseen auttaa usein vain kokemus itse asennustyöstä tai palaute keskusten käyttäjiltä. Asioita, joihin on hyvä kiinnittää huomiota IAS-

keskuksia tarkastaessa, ovat kaapin tuuletukset, sisävalo, tärinä, ovitaskut, saranat, ovisalvat ja lukot. Kuva 12 on otettu Valmetin tehtaalta IAS:in hardwaren tehdaskokeesta. [12.]



Kuva 12. IAS:in hardwaren tehdaskoe. Vasemmalla I/O-keskus ja oikealla prosessiasema.

EAS ja Dead Man -järjestelmän paneelit ja niiden normaali toiminta käydään laitteiston tehdaskokeessa läpi kytkemällä paneeleihin virrat ja toteamalla, että kaikki toimivat normaalisti. Järjestelmien toiminta käydään läpi ohjelmiston tehdaskokeessa. [22, s. 8.]

Laitteiston tehdaskokeeseen sisältyy myös kaikkien operointiasemien komponenttien tunnistaminen ja ulkoinen läpikäyminen. Toiminnallisesti komponentit käydään läpi siten, että niissä on virta kytkettynä päälle ja todetaan niiden toimivan normaalisti. Operointiasemiin sisällytetään mahdolliset historiaserverit ja kaikki järjestelmän printterit. Operointiasemien komponentteja yleisesti ovat kytkimet, tietokoneet, näppäimistöt, monitorit ja virtalähteet. [22, s. 9–11.]

4.1.3 PMS FAT

Laivan tehonjakojärjestelmä on yksi tärkeimmistä järjestelmistä moderneissa laivoissa ja laivan toiminnan kannalta se sisältää useita kriittisiä logiikkaohjauksia. Jos PMS on integroituna IAS:iin, voidaan sen tehdaskoe suorittaa samalla IAS:n tehdaskokeen aikana. Tehdaskokeen periaatteen mukaan kaikki mahdolliset virheet, huomiot ja korjattavat asiat kirjataan ylös ja käydään läpi järjestelmätoimittajan kanssa myöhemmin. Koska järjestelmätoimittajalla ei suurella todennäköisyydellä ole mahdollisuutta käyttää oikeita kenttälaitteita tehdaskokeessa, käytetään PMS:n tehdaskokeessa ohjelmistoa, jolla simuloidaan moottorit, generaattorit katkaisijoihin, kiskokatkaisijat, kuluttajien katkaisijat, laivan sähköverkko ja prosessin ohjaus-signaalit. [23, s. 4–5.]

Tehdaskokeessa tarkistetaan yleisesti, että PMS-näytöltä löytyy kaikki tarvittava informaatio. Järjestelmän käynnistyksenesto eli start block -toiminnot testataan generaattorien ollessa manuaali- ja automaattiohjauksella. Jos generaattorilla on yksikin ennalta määritetty käynnistyksenestotoiminto päällä, ei se saa käynnistyä. [23, s. 5.]

Tarkastetaan DG:n käynnistyminen ja pysähtyminen. DG:lta lähtevät signaalit PMS:ään simuloidaan ja tarkistetaan, että indikointi generaattoreiden käyntitiedoilla on oikein. DG:n käyttäytyminen sekä pysähtyminen testataan myös vikatilassa ja hälytykset tarkistetaan hälytyslistalta. [23, s. 6.]

Generaattorikatkaisijoiden vikatilat testataan simuloimalla vikoja katkaisijan signaaleihin. PMS:n tulee aiheuttaa hälytys, jos generaattorikatkaisija ei aukea, mene kiinni tai jos signaali katkaisijalta katoaa kokonaan. [23, s. 7.]

Kuormasta johtuva generaattorin käynnistys ja pysäytys testataan järjestelmästä. Propulsiotaulussa kiinni olevan generaattorin kuormaa simuloidaan yli käynnistysraja. Säädetyin ajan jälkeen prioriteettijärjestyksessä seuraavana oleva generaattori käynnistyy ja PMS tahdistaa sen automaattisesti verkkoon. Generaattorit jakavat kuorman keskenään. Kun generaattoreiden kuormaa lasketaan alle sammutusrajan, alkaa toinen generaattori ennalta määritellyn ajan jälkeen purkaa kuormaa toiselle generaattorille. Kun kuorma on purettu, aukeaa generaattorikatkaisija ja generaattori poistuu verkosta ja joko pysähtyy tai jää tyhjäkäynnille. [23, s. 7.]

Generaattoreiden välistä kuormanjakoa ja taajuuden ohjausta testataan generaattoreiden välillä kiskokatkaisijoiden ollessa sekä auki että kiinni. Generaattorit simuloidaan päälle, asetetaan automaattiohjaukselle ja ne kytketään generaattorikatkaisijan kautta propulsiotauluun. Propulsiotaulun kuormaa lisätään tai vähennetään esimerkiksi simuloimalla suuria kuluttajia päälle tai pois. PMS säätää päätaulujen taajuutta sitä lähettämällä oikean suuntaisia korjauspulsseja taajuuden säätäjälle. Generaattorit jakavat laivan sähköverkon kuorman tasaisesti tai epätasaisesti, riippuen käytössä olevasta kuormanjaon moodista. [23, s. 8.]

Sähkötuksesta toipuminen on yksi tärkeimmistä PMS-logiikoista, sen toiminta testataan tehdaskokeessa. Käytännössä testaus on hyvin yksinkertaista. Koko laivan sähköverkko saa virtansa yhdestä generaattorista ja se sammutetaan. Järjestelmän tulee pystyä käynnistämään kaikki saatavilla olevat generaattorit ja kytkemään ensimmäisenä nominaalijännitteensä saavuttanut generaattori verkkoon. Kaikki generaattorit pyritään käynnistämään varmuuden vuoksi, jos vaikka prioriteettijärjestyksessä seuraava generaattori ei käynnistyisikään jostain syystä. Täydellisen sähkökatkon jälkeen jännite saadaan palautettua laivan verkkoihin ja tämän lisäksi tärkeiden pumppujen ja puhaltimien tulee käynnistyä uudestaan. [23, s. 9.]

Laivamäärityksessä esitellyt laivan automaattiset ajomoodit testataan PMS:sta. Lähtökohteisesti PMS tulee ajaa käsin ensin yhteen selkeään moodiin, ja sen jälkeen kaikki mahdolliset moodinvaihdot käydään järjestelmästä läpi ja katsotaan, että PMS:n logiikka ohjaa laivan koneistoa ja sähköverkkoa aina haluttuun tilaan. [23, s. 10–11.]

4.2 Laiturikoe, Harbour Acceptance Test (HAT)

Kun IAS on hyväksyttävästi läpäissyt tehdaskoeohjelman, sen komponentit kuljetetaan telakalle, jossa ne asennetaan laivaan. Laivassa järjestelmän käyttöönotto etenee kapaleessa kolme esitetyn käyttöönottoprosessin mukaisesti. Kun IAS on valmis ja käytönotettu, testataan sen toimintaa yhdessä luokituslaitoksen ja laivan tilaajan edustajien kanssa. [2, s. 202.]

Järjestelmän testejä, jotka voidaan suorittaa laivan ollessa telakan laiturissa, kutsutaan laiturikokeiksi, mutta koeohjelmasta käytetään myös nimiä Quay Trial (QT), Harbour Acceptance Test (HAT) tai Dock Trial (DT).

Perusajatuksena IAS:n laiturikokeilla on näyttää tilaajalle ja luokituslaitokselle, että järjestelmä toimii olosuhteista riippumatta oikein. Siinä missä tehdaskokeessa laivaympäristö simuloitiin IAS:lle, laiturikokeissa ei tämä ole enää sallittua, vaan signaalien tulee olla todellisia ja järjestelmien asennuksen lopullinen. [2, s. 204.]

Tehdaskokeessa IAS:n toimintoja simuloitiin koeohjelman mukaisesti. Laiturikokeessa järjestelmän toimintoja ei käydä yhtä yksityiskohtaisesti signaalitasolla läpi, vaan järjestelmän toiminnollisuuksia testataan yleisemmällä tasolla ja testin tarkoitus on osoittaa, että automaatiojärjestelmä toimii oikein.

Laiturikoeohjelma muodostuu useasta eri kohdasta, jossa jokaisessa testataan järjestelmän eri osia ja toimintoja. Kaikkia järjestelmän osia ei ole tarkoitus tarkastaa kerralla, vaan järjestelmä on pilkottu pienemmiksi osakokonaisuuksiksi, jolloin järjestelmän tarkastuskoe on helpompi suorittaa osissa aina pieni osio kerrallaan.

IAS:n laiturikoe ohjelma vaihtelee rakennettavan aluksen tyyppin mukaan ja luokituslaitosten ja laivan tilaajan vaatimusten mukaan. Laiturikoeohjelmat ovat virallisia testejä, ja niiden suorittamatta jättäminen saattaa estää laivan luovutuksen tai luokkamerkin saavuttamisen.

Liitteessä 2 on esitetty IAS:n laiturikoeohjelma. Liitteen laiturikoeohjelma on luotu jättä murtavalle huoltoalukselle. Saman luokkamerkin aluksissa sisältö laiturikoeohjelmissä on pääsääntöisesti hyvin samanlainen järjestelmätoimittajasta ja rakentavasta telakasta huolimatta.

Laiturikoeohjelma sisältää järjestelmän lopullisen asennustarkastuksen. Asennustarkastuksessa tarkastetaan kaikkien järjestelmän pääkomponenttien mekaaninen asennus, kaapelointi ja kytkennät. Järjestelmäkomponentit tulee olla asennettuina ja kaapeloituina telakan laatuohjeiden sekä laivaerittelyn vaatimalla tavalla. [24, s. 1.]

Operointiasemien tarkastuksessa käydään läpi operointiasemien käytettävyys. Käyttöjärjestelmän toiminnot testataan ja yleisimmät toiminnot, indikoinnit, mittaukset ja ohjaukset esitetään tarkastuksessa aluksen tilaajan ja luokituslaitoksen edustajalle. Mittauksia voidaan verrata paikallisiin analogisiin mittauksiin ja esimerkiksi järjestelmän ohjausvas- tuun siirron toiminta tarkastetaan. [24, s. 2.]

Järjestelmään mahdollisesti integroidut ohjelmat kuten EAS ja Engineer Watch -järjestelmä sisältyvät myös viralliseen IAS:n laiturikoeohjelmaan. Näiden järjestelmien laiturikoeohjelman sisältö on usein erillisellä liitteellä, jossa on järjestelmätoimittajan laatima ja luokituslaitoksen hyväksymä ohjelma. Käytännössä koeohjelma on usein hyvin samankaltainen kuin tehdaskoeohjelma mutta ilman simuloituja signaaleja. Järjestelmien tehdaskoeohjelma käsiteltiin luvussa 4.1.1 Software FAT. [24, s. 3.]

IAS:n laiturikokeeseen kuuluu järjestelmän vikasetokyvyn testaaminen. Tämä osio laiturikokeesta on sisällöltään hyvin samanlainen kuin tehdaskokeessa suoritettu järjestelmän redundanttisuuden ja vikasetokyvyn tarkastelu. Järjestelmän redundanttisuuden toimintaa ja hälytyksiä testataan vikatilanteen sattuessa. Vikasetotestin laajuus riippuu laivan IAS:n rakenteesta ja laajuudesta. Risteilijöillä järjestelmän laajuus on moninkertainen verrattuna pienempiin aluksiin, mutta periaate testillä on aina sama. Aiheutetaan vika järjestelmän redundanttiseen osaan ja katsotaan, miten järjestelmä selviää tilanteesta. [24, s. 4.]

IAS on luokituslaitoksen sääntöjen mukaisesti rakennettu aina UPS-järjestelmän taakse. UPS-järjestelmä takaa keskeytyksettömän sähkönsyötön sähkökatkosta huolimatta niihin järjestelmiin, joita se palvelee. IAS rakennetaan usein vähintään kahden UPS-järjestelmän taakse, jolloin sen sähkönsyötön redundanttisuus taataan, ja vaikka laivaan tulisi sähkökatko ja toinen UPS menetettäisiin, niin silti vähintään puolet operointiasemista olisi toimintakuntoisia. IAS:n UPS-testi suoritetaan kytkemällä UPS-järjestelmien sähkönsyötöt pois päältä ja tarkistamalla IAS:n toiminta ennalta laiva erittelyssä määritellyn ajan jälkeen. [24, s. 5.]

4.3 Merikoe, Sea Acceptance Test (SAT)

Laiturikokeita seuraa laivan merikoeohjelma. Merikokeella laivan toimintaa testataan oikeissa olosuhteissa täydellä kuormalla. Merikokeet ovat viimeiset kokeet, jotka suoritetaan, ennen kuin laiva voidaan luovuttaa tilaajalle. Merikokeella todistetaan luokituslaitokselle ja laivan tilaajalle, että laiva kykenee toimimaan määriteltyjen vaatimusten mukaisesti ja täyttämään vähintään SOLAS:n asettamat minimivaatimukset uudislaivarakennuksille. [2, s. 206.]

Laivassa on useita eri järjestelmiä, joiden toiminta pystytään osoittamaan vain merikokeilla. Useita näistä järjestelmistä joko ohjataan tai monitoroidaan IAS:n kautta. IAS:lla ei varisnaisesti ole merikoeohjelmaa, joten kaikki suoraan siihen liittyvät testit pystytään tekemään laiturissa. PMS:lla kuitenkin on omat merikokeensa ja kuten aikaisemmin todettiin, järjestelmä on hyvin usein moderneissa aluksissa integroituna IAS:iin.

PMS:n koeohjelmassa on kohtia, jotka voidaan toteuttaa laiturissa kuten manuaalinen kuormanjako, sähkökatkotesti, vian aiheuttama sammutus- ja kuorman vähenemistesti sekä moodinvaihtotestit. Järjestelmän tärkeimmät testit tehdään kuitenkin merikokeella. [25, s. 1–4.]

Automaattisen kuormajaon testissä generaattoreita ajetaan rinnakkain ja PMS ohjaa generaattoreiden kuormanjakoa. Propulsiokuormaa muutetaan askeltamalla ja generaattoreiden stabiliteettia tutkitaan kuormanvaihtojen välillä. Jokaisella kuorman askeleella tarkastetaan propulsiotaulujen jännite ja taajuus. Generaattoreiden staattorivirrat, kulmavaihe ja kuorma mitataan. Näiden tietojen pohjalta pystytään analysoimaan generaattoreiden stabiliteettia ja vertaamaan niitä luokituslaitoksen antamiin rajoihin. [25; 26.]

Jo tehdaskokeissa testattu kuormasta johtuva käynnistys- ja sammutus-toiminnot kokeillaan merikokeella. LDP-rajaa muutetaan sen mukaan, että kaikki aluksen generaattorit käynnistyvät kuormaa lisäämällä ja vain yksi pysyy päällä kuorman pudotessa alas. Kuormasta johtuvia toimintoja kokeillaan eri ajomoodeissa, jolloin PMS ohjaa järjestelmää eri tavalla. [25, s. 5.]

Generaattoreiden keskinäiset kuormanvaihdot eli niin sanotut load stepit, tehdään myös merikokeella. Propulsiokuorma jaetaan epätasaisesti kahden generaattorin välille, luokituslaitoksen vaatiman jaon mukaan. Esimerkiksi toiselle generaattorille 33 % ja toiselle 66 % propulsiokuormasta. Tämän jälkeen pienemmän kuorman generaattori irrotetaan verkosta ja seurataan, miten jäljelle jäävä generaattori kestää äkillisen kuorman kasvun. Kuvassa 10. on esiteltynä kahden generaattorin Load step -testin trendit IAS:sta. Toinen generaattori irrotettiin yllättäen verkosta ja jäljelle jäävä generaattori otti kuorman niin, ettei propulsiotaulujen jännite tai taajuus pudonnut merkittävästi. Kuormanvaihdon vaikutus totaaliseen propulsiokuormaan olisi myös hyvä seurata, tässä trendissä sitä ei tehty. Viralliset testit tehdään luokituslaitoksen tai tilaajan vaatiessa myös oskilloskoopilla.



Kuva 13. IAS:in trendi-ikkuna Load step -testistä

UMS-testi kuuluu PMS:n merikoeohjelmaan. Sitä oikeastaan voidaan pitää tietynlaisena mittarina aluksen valmiusasteesta. Kun testi suoritetaan hyväksytysti, on aluksen lopullinen valmius korkealla. UMS-testin aikana laivan konetilat suljetaan ja pääsyä konevalvomoon rajoitetaan. Testi kestää luokituslaitoksen vaatimuksista riippuen usein noin vuorokauden. Testin aikana aluksella ajetaan mahdollisimman normaalia ajoa ja tehdään laivan todellisia olosuhteita kuvaavia manööverejä. UMS-testin jälkeen IAS:n hälytyslista ja mahdollinen maskattujen hälytysten lista tulostetaan. Jokainen hälytys on pysyttävä perustelevaan tilaajalle ja luokan edustajalle. [11.]

Jos aluksessa on suuria kuluttajia propulsioverkossa, kuten palonsammutuspumppuja, näiden käynnistystestit tehdään myös merikokeella. Käynnistysten vaikutuksia tutkitaan propulsiotaulujen virtaan ja jännitteeseen. Kuluttajien käynnistyksestä aiheutuvien alenemien tulisi pysyä alle luokituslaitoksen määrittämien rajojen ja niistä tulisi toipua nopeasti. [25, s. 8.]

Epätasainen kuormanjako eli Unbalanced load sharing -testi suoritetaan myös merellä. Luokituslaitoksen kanssa sovitaan käytettävät generaattorikombinaatiot ja generaattoreilta lasketaan tehot sekä loistehot ja niiden prosenttiosuudet. Epätasaisista kuormanjakoa käytetään tilanteissa, joissa yksi DG ei pysty toimimaan täydellä teholla. Tällöin yhden DG:n kuormaa voidaan rajoittaa ja muut GD:t jakavat lopun kuorman keskenään.

MDG3, MDG4		Pr=3376kW		Qr=Pr*tgφ=1620 kVA			
Total load of MDGs (%, (kW))	<u>25%</u> (1686)	<u>60%</u> (4051)	<u>85%</u> (5739)	<u>100%</u> (6752)	<u>25%</u> (1686)	<u>60%</u> (4051)	<u>85%</u> (5739)
Load on MDG№3 P3 (kW)	853	1966	2847	3357	2899	2028	860
Load on MDG№4 P4 (kW)	842	1971	2815	3369	2872	2001	841
Uneven distribution of active power, P% $P_{34}=[P_3/3376-(P_3+P_4)/6752]*100\%$	0,1627	-0,0740	0,4734	-0,1775	0,3994	0,3994	0,2811
Uneven distribution of load, P% $P_{43}=[P_4/3376-(P_3+P_4)/6752]*100\%$	-0,1267	0,0740	-0,4734	0,1775	-0,3994	-0,3994	-0,2811
Load on MDG№3 Q3 (kVA)	0,296	0,506	0,538	0,700	0,547	0,522	0,300
Load on MDG№4 Q4 (kVA)	0,309	0,510	0,531	0,692	0,539	0,510	0,301
Uneven distribution of reactive load, Q% $Q_{34}=[Q_3/1620-(Q_3+Q_4)/3240]*100\%$	-0,4012	-0,1235	0,2160	0,2469	0,2469	0,3704	-0,0309
Uneven distribution of reactive load, Q% $Q_{43}=[Q_4/1620-(Q_3+Q_4)/3240]*100\%$	0,4012	0,1235	-0,2160	-0,2469	-0,2469	-0,3704	0,0309

Calculation of uneven load distribution

$$P = ((P/Pr) - (\sum P / \sum Pr)) \cdot 100\%$$

Pr –rated generator power in MW;

P- load of the power station in MW; $\sum Pr$ - total power of operating generators;

$$Q = ((Q/QR) - (\sum Q / \sum QR)) \cdot 100\%$$

Qr –rated generator power in MVA;

Q- load of the power station in MVA; $\sum QR$ - total power of operating generators

Kuva 14. Taulukko kahden generaattorin Unbalanced load sharing -testistä. [26]

Kuvassa 11 on esitettyä liite laivan merikoeohjelmasta, jossa kahta generaattoria on ajettu rinnakkain ja totaalista kuormaa generaattoreille on muutettu askeltamalla. Generaattoreiden kuorman jako näyttää taulukon mukaan tasaiselta, vaikka kuormanjakoa ei ole generaattoreiden kesken määritelty. [26.]

5 Yhteenveto

Tämän työn perusajatus oli tehdä laivan integroidun automaatiojärjestelmän käyttöönoton ohjeistus Arctechin Helsingin telakalle. Järjestelmän käyttöönottoprosessiin tässä

työssä sisällytettiin tehdaskoeohjelma, vaikka se ei liitykään varsinaisesti laivan järjestelmien koekäyttöön. Sisällöltään järjestelmän tehdaskoe kuitenkin tuki tätä työtä hyvin, joten rajasin sen tämän työn aihepiiriin sisäpuolelle.

Mielestäni sain rajattua tähän työhön kokonaisuuden laivan integroidusta automaatiojärjestelmästä, sen toiminnoista ja siihen vaikuttavista säännöistä ja rajoituksista. Jouduin rajaamaan työstä laajoja kokonaisuuksia ulkopuolelle, sillä niiden vaatima aika ja työ määrä eivät millään olisi mahtunut tähän insinööryöhön. Onnistuin kuitenkin kiteyttämään käyttöönoton kannalta tärkeimmät työvaiheet ja kokonaisuudet.

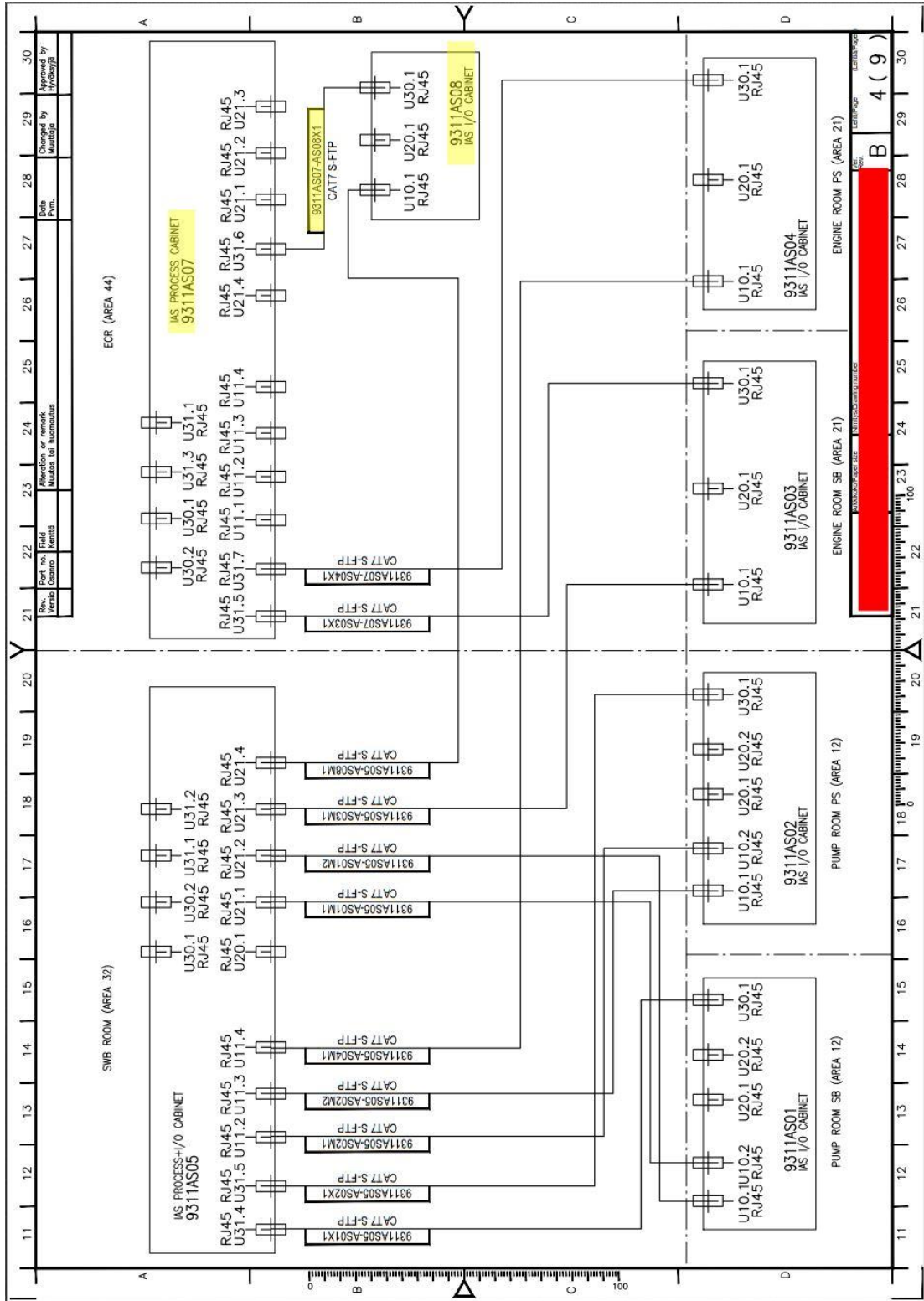
Suurimmat haasteet tämän työn tekemisessä kohtasin lähdemateriaalien etsimisessä. Laivanrakennusteollisuudesta julkisesti saatavilla olevia lähdemateriaaleja on hyvin vähän. Alan kirjallisuutta ei juuri ole ja tietoa on vaikea löytää internetistä. Tämän työn lähteinä käytin paljon Helsingin telakan omia koulutusmateriaaleja, jotka sisältävät erilaisia laiva-alan seminaariesityksiä eri järjestelmätoimittajilta. Tietojen paikkansapitävyyksiä tarkistin järjestelmätoimittajilta.

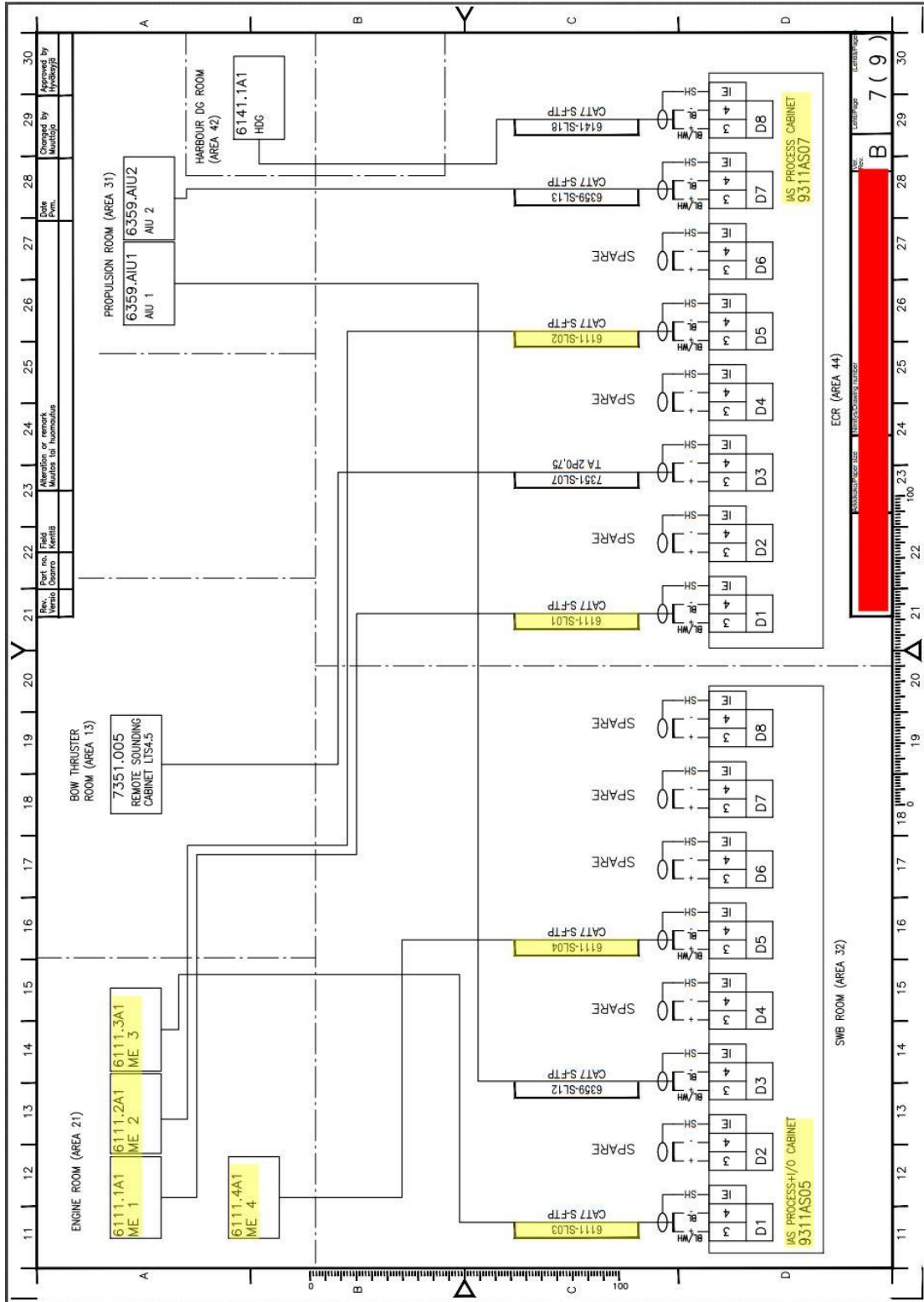
Huomasin tämän työn aikana, että yleispätevää käyttöohjetta IAS:n käyttöönottoon on hyvin vaikea tehdä, sillä telakoilla eri puolilla maata käyttöönottoproseduurit vaihtelevat. Automaatiojärjestelmät vaihtelevat myös rakenteellisesti paljon työlaivojen ja risteilijöiden välillä. Tämän työn valmistumisen aikaan Helsingin telakalla rakennettiin työlaivoja, ja tämä työ on sisällöltään kohdistettu niihin.

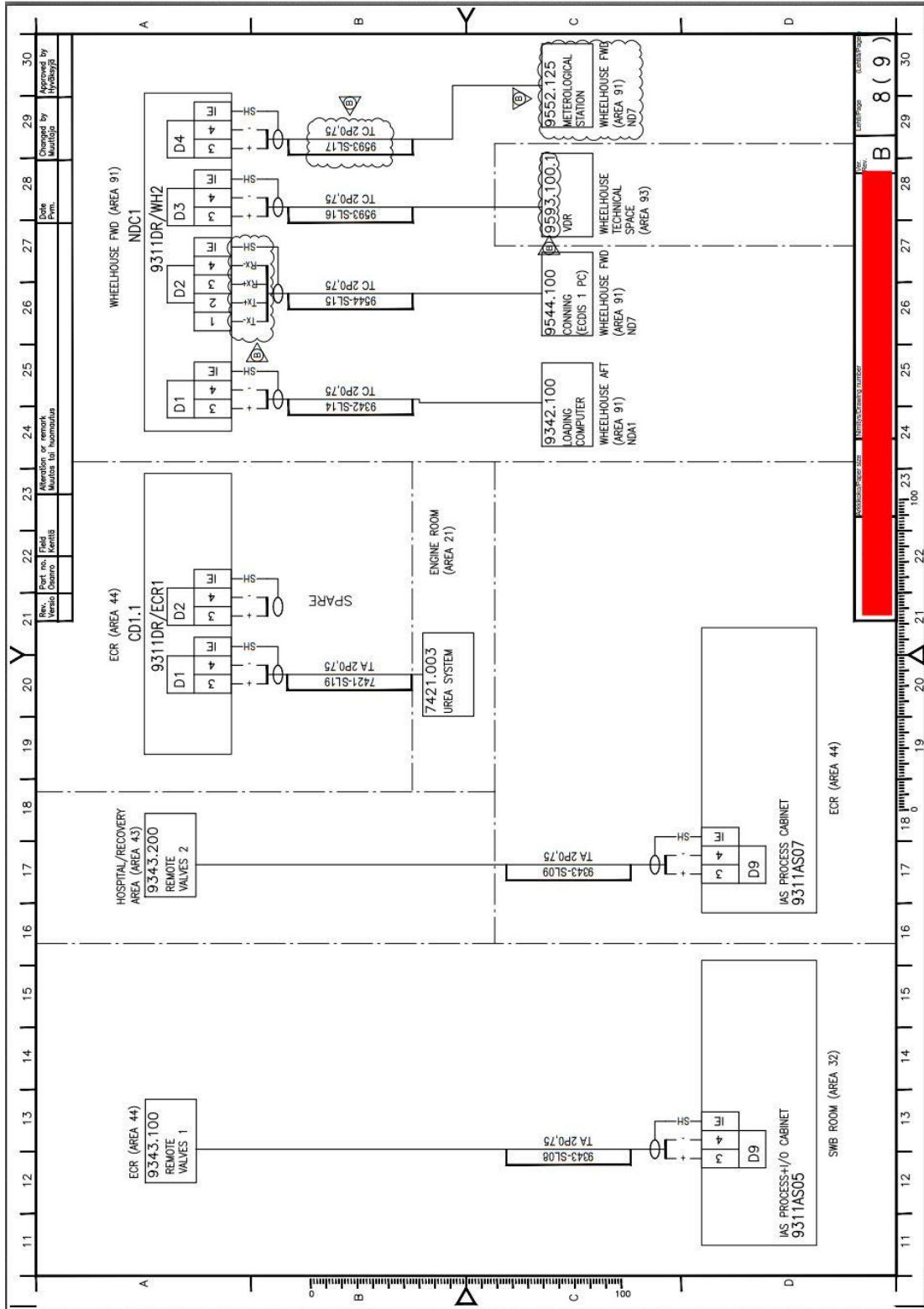
Lähteet

- 1 Malinen, Jorma. 2012. STX Finland. Laiva-automaation integraativaihtoehdot. Turku. Seminaariesitysmateriaali.
- 2 Borstalap, René & Ten Katen, Hans. 2011. Ships´ Elecrical Systems. 1. Painos. Alankomaat: Dokmar Maritime Publishers B.V.
- 3 Lehto, Pasi. 2014. Laiva-automaation suunnittelun ohjeistus. Insinööriyö. Turun ammattikorkeakoulu.
- 4 Jaakola, Pekka. 2010. Insinööritoimisto Comatec Oy. Laivan sähköiset järjestelmät lähtökohtana säännöt. Turku. Seminaariesitysmateriaali.
- 5 Tekninen määrittely. Specification P-71024. D.71024.1110.234.001.F. Arctech Helsinki Shipyard Oy.
- 6 IMO. 2014. SOLAS Consolidated Edition. 6. Painos. Iso-Britannia: Polestar Wheatons Ltd.
- 7 Konttori, Jari. 2016. Det Norske Veritas Oy. SRtP vaatimukset automaatio- ja valvontajärjestelmiin. Espoo. Seminaariesitysmateriaali.
- 8 Paajanen, Jarmo. 2016. JapaTiko Oy. Konehuonekäyttäjänäkemys. Espoo. Seminaariesitysmateriaali.
- 9 Laine, Sami. 2016. ABB Marine Oy. Laiva-automaation perusteet. Espoo. Seminaariesitysmateriaali.
- 10 Ylinen, Markku. 2012. Metso Automation. Metso DNA Kahdennukset ja luotettavuus. Turku. Seminaariesitysmateriaali.
- 11 Oksama, Markku. 2017. Arctech Helsinki Shipyard. Helsinki. Henkilökohtainen tiedonanto. 15.2.2016
- 12 Jokioinen, Esa. 2016. Rolls-Royce Marine. Meriliikenteen digitaliosaatio - Matka kohti autonomista laivaa. Espoo. Seminaariesitysmateriaali.
- 13 Häkkinen, Janne. 2010. Valmarine. Laivan sähköaseman automaatio. Turku. Seminaariesitysmateriaali.
- 14 Medvedev, Alexandr. 2016. Valmet Automation. Henkilökohtainen tiedonanto. Tampere. 18.12.2016

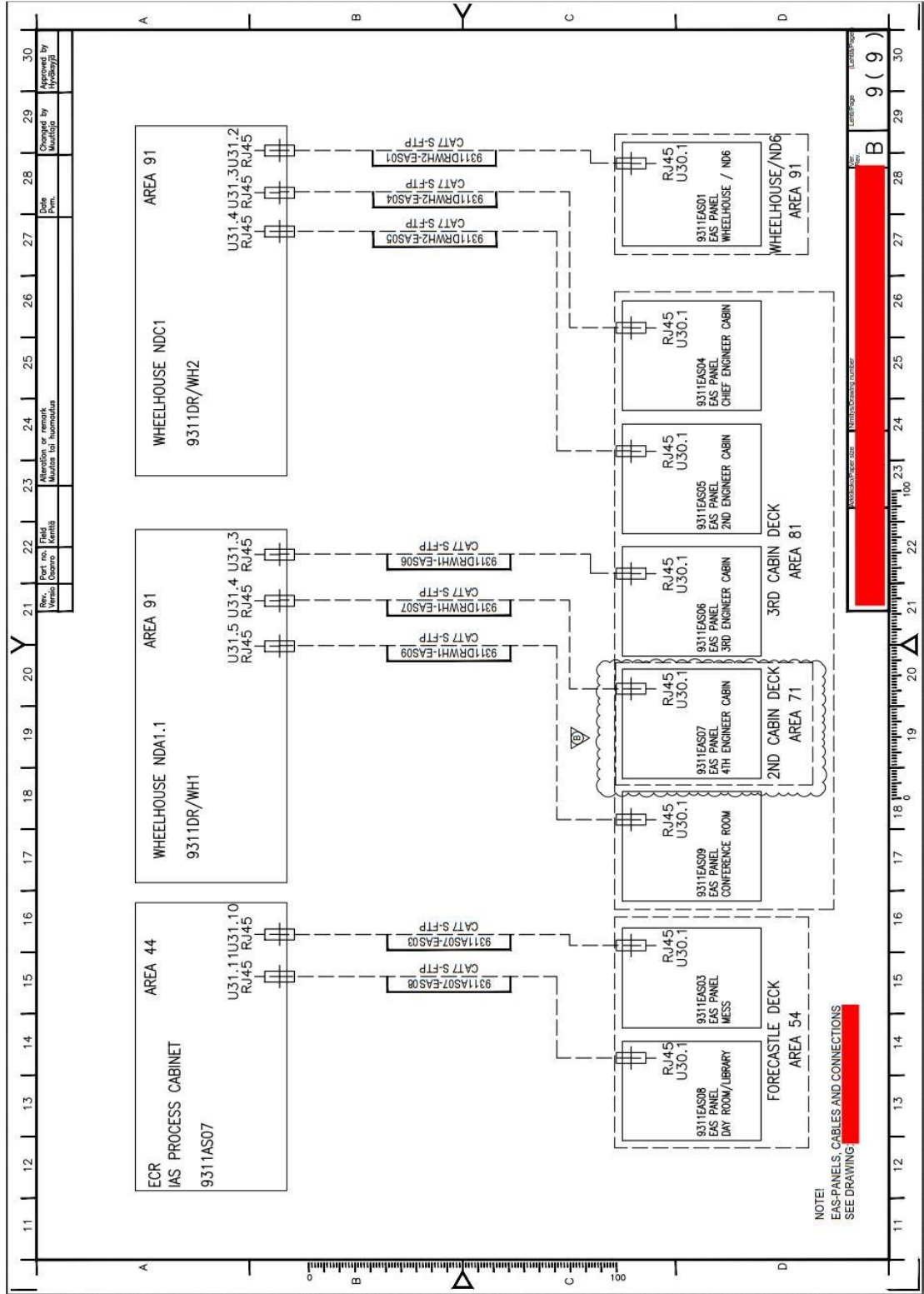
- 15 Järjestelmäkuvaus. Power Management System Description. D.512.9321.903.001. Arctech Helsinki Shipyard
- 16 Tikkanen, Esa. 2010. STX. Sähköinen testaus ja käyttöönotto. Turku. Seminaariesitysmateriaali.
- 17 Tikkanen, Esa. 2017. Arctech Helsinki Shipyard. Helsinki. Henkilökohtainen tiedonanto. 3.4.2017
- 18 Orivuori, Lauri. 2017. Arctech Helsinki Shipyard. Helsinki. Henkilökohtainen tiedonanto. 10.1.2017
- 19 Tanner, Heikki. 2016. Valmet Automation. Oasis 3:n Valmet DNA automaatiojärjestelmä. Espoo. Seminaariesitysmateriaali.
- 20 Sonntag, Markus. 2017. ABB Marine. Helsinki. Henkilökohtainen tiedonanto. 8.3.2017
- 21 Friman, Jukka. 2016. Valmet Automation. Software Factory Acceptance Test Procedure Integrated Alarm, Monitoring and Control System for NB513. Tampere. Tehdaskoeohjelma.
- 22 Friman, Jukka. 2016. Valmet Automation. Hardware Factory Acceptance Test Procedure Integrated Alarm, Monitoring and Control System for NB513. Tampere. Tehdaskoeohjelma.
- 23 Friman, Jukka. 2016. Valmet Automation. Factory Acceptance Test Procedure Power Management System NB513. Tampere. Tehdaskoeohjelma.
- 24 Laiturikoeohjelma. Quay and Sea Trial Test Program. TRI.512.9311.9.001. Arctech Helsinki Shipyard Oy.
- 25 Merikoeohjelma. Quay and Sea Trial Test Program. TRI.512.9321.9.001. Arctech Helsinki Shipyard Oy.
- 26 Laiturikoeohjelman liite. Stability of Parallel Operation Appendix 3A. Arctech Helsinki Shipyard Oy.








8 (9)



IAS-järjestelmän laiturikoeohjelma

Tämä liite sisältää esimerkin modernin jäänmurtajan IAS:in laiturikoeohjelmasta.

	QUAY AND SEA TRIAL TEST PROGRAM NB512 STEPAN MAKAROV IMO:9753727 NB513 FEDOR USHAKOV IMO:9753739 NB514 MIKHAIL LAZAREV IMO:9753741	TRI.512/513/514.9311.9.001		
NB _____		Pages 1/5		
Test report for				
9311	INTEGRATED AUTOMATION SYSTEM (IAS)			
System resp MO/2877	Insp. resp: MO/2877	Revision: B Date: 9.3.2017		
Diagrams: Not applicable				
IAS I/O POINTS COMMISSIONING				
References: List of inputs/outputs (I/O), dwg D.512/513/514.9311.901.004.				
Most of I/O points will be shown during system tests, Owner will be invited to these tests using normal procedure.				
Yard will check each individual I/O point and sign to the I/O commissioning list, Owner and RMRS can participate in this process, if chooses so.				
I/O points can be shown to Owner and RMRS with separate spot check after all I/O points are signed to I/O commissioning list. Owner must inform yard what I/O points they want to check one day before test.				
	Date	Shipyard	Class	Owner
401				
Check IAS cabinets, printers functions and OPS's (Installation)				

Test report for			
9311	INTEGRATED AUTOMATION SYSTEM (IAS)		
System resp MO/2877	Insp. resp: MO/2877	Revision: B	Date: 9.3.2017

Diagrams: Not applicable

Date Shipyards Class Owner

Date	Shipyards	Class	Owner

402

Checking of keyboard functions and checking of mimic display functions

- alarms and suppressions
- local/remote transfer
- operator station responsibility transfer, normal and in case of emergency with password. Alarm acknowledgement functions in this case to be tested.
- indications and measurements
(to compare analog meters to IAS-displays)
- stand-by functions
- remote controlled valves
- control valves
- trend displays and functions
- pump and fan controls according to drawing D.512/513/514.9311.901.005, IAS controlled pumps and fans, list.

Test report for			
9311	INTEGRATED AUTOMATION SYSTEM (IAS)		
System resp MO/2877	Insp. resp: MO/2877	Revision: B	Date: 9.3.2017

Diagrams: Not applicable

	Date	Shipyards	Class	Owner
403				

Checking of Extended Alarm System.

According to VALMET program:
Extended Alarm System (EAS). 9311 APPENDIX 1

404				
------------	--	--	--	--

Engineer watch (dead-man) system, panels and functions.

According to VALMET program:
Engineer Watch System

Function of engineer call from IAS screen only from ECR to alarm lamp towers to be tested.

NB _____

Pages 4/5

Test report for			
9311	INTEGRATED AUTOMATION SYSTEM (IAS)		
System resp MO/2877	Insp. resp: MO/2877	Revision: B	Date: 9.3.2017

Diagrams: Not applicable

Date Shipyards Class Owner

Date	Shipyards	Class	Owner	

405 Fault testing

- turn off main process station
- perform few operations start e.g. pump to verify operability
- simulate alarm to verify alarm functions
- open fibre cable SBSW1 and verify alarm
- pull out one line to the OPS and verify alarm
- turn on main process station
- pull out one fieldbus controller from running process station
- loose of one side I/O rack
- loose of I/O cabinet one power supply unit
- simulate one earth fault from one I/O-cabinet and verify alarm
- disconnect one mA measurement signal and observe sensor failure alarm.

NB _____

Test report for			
9311	INTEGRATED AUTOMATION SYSTEM (IAS)		
System resp MO/2877	Insp. resp: MO/2877	Revision: B	Date: 9.3.2017

Diagrams: Not applicable

Date Shipyards Class Owner

**406 Check IAS UPS(9311UPS1,
9311UPS2) power supplies
by switching off 230VAC to
the UPS's.**

Verify the UPS capacities
after 30 min e.g. simulating
one alarm

Date	Shipyards	Class	Owner