

Matti Merviä

# Compact Azipod -järjestelmän käyttöönotto

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Automaatiotekniikka

Insinööriytyö

13.10.2014

Tekijä(t) Otsikko	Matti Merviä Compact Azipod -järjestelmän käyttöönotto
Sivumäärä Aika	68 sivua + 2 liitettä 13.10.2014
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Automaatiotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	
Ohjaaja(t)	Lehtori Kai Virta
<p>Tämän insinööriyön tarkoituksena on tarkastella Compact Azipod -käyttöönottoa ja sen testaamista. Compact Azipod on ABB:n kehittämä sähköinen propulsiojärjestelmä, jota voidaan kääntää 360° akselinsa ympäri Työssä tutustutaan laivan voimalaitokseen, sähkönjakeluun, taajuusmuuttajiin, keulaohjauspotkureihin, Compact Azipod -yksiköihin ja niiden ohjausjärjestelmiin.</p> <p>Käyttöönoton tarkoituksena on saada tehdastestatut komponentit toimimaan yhdessä muiden järjestelmien kanssa ja saada laiva toimimaan siinä ympäristössä mihin se on suunniteltu. Käyttöönottoon kuuluu Azipod-järjestelmien ja niiden ohjauksen testaaminen, toimintavarmuuden varmistaminen ja järjestelmien toimintojen hyväksyttäminen luokituslaitoksen edustajalle.</p> <p>Työn tuloksena saadaan muodostettu kattava kuva Compact Azipod -aluksen käyttöönotosta ja työn lopussa esitetään yhteenveto käyttöönotossa opituista asioista ja ongelmista.</p>	
Avainsanat	Compact Azipod, käyttöönotto, propulsiojärjestelmä

Author(s) Title	Matti Merviä Commissioning Compact Azipod
Number of Pages Date	68 pages + 2 appendices 13 October 2014
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Automation Engineering
Specialisation option	
Instructor(s)	Kai Virta, Principal Lecturer
<p>The aim of this thesis is to study the commissioning and testing of the Compact Azipod. Compact Azipod is developed by ABB. Its electrical propulsion system, can be rotated 360° degrees about the vertical axis. This study includes the following components: power plant, electric distribution, frequency converters, bow-thruster, Compact Azipod units and their control systems.</p> <p>The purpose of this commissioning is to get factory tested components to work with other systems and manage to get the vessel working in the environment that it was designed for. Commissioning includes testing of Azipod systems and controls, confirming systems' reliabilities and managing to get classification societies' approvals for all the systems.</p> <p>As a result, a thorough understanding of commissioning of the Compact Azipod vessel was formed and the results of commissioning and its problems are presented at the end of the thesis.</p>	
Keywords	Compact Azipod, commissioning, propulsion system

# Sisällys

## Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Yritysesittely	1
3	Compact Azipod	1
3.1	Dieselsähköinen propulsiojärjestelmä	2
3.1.1	Voimalaitos	3
3.1.2	Propulsiojärjestelmä	4
3.1.3	Propulsio-ohjausjärjestelmä	4
3.2	Compact azipod -käyttöönottotarkastukset	4
3.2.1	Rasvausjärjestelmät	5
3.2.2	Lämpötila-anturit ja värähtelyanturit	8
3.2.3	Resolverit ja potentiometrit	10
3.2.4	SRU-liukurengasyksikkö	13
3.2.5	Momenttivarsi	16
3.2.6	Paineilmajärjestelmä	17
3.2.7	Azipod-yksikön tyhjennyslinjat	18
3.2.8	Moottorimoduli	19
4	Propulsiomuuntajat 3,3kV	22
4.1	Propulsiomuuntajien käyttöönottotarkistukset	22
4.1.1	Mekaanisen asennuksen tarkistus	23
4.1.2	Maadoitukset	23
4.1.3	Ohjauskaapelit	23
4.1.4	Syöttö- ja lähtökaapelit	24
4.1.5	Esimagnetointimuuntaja	25
5	Taajuusmuuttajat	25
5.1	DC-välijännitepiirin kondensaattoreiden elvytys	26
5.1.1	Multidrive-taajuusmuuttajien kondensaattoreiden elvytys	27
5.1.2	Kääntökäyttötaajuusmuuttajien kondensaattoreiden elvytys	28
5.2	Kääntökäyttötaajuusmuuttajat	28
5.2.1	Isäntä/Seuraajalogiikka ja paikoitusohjaus	29
5.2.2	Pysäköintijarru	30
5.2.3	Kääntöyksikön ohjauspaikat	31

5.2.4	Kääntökäyttötaajuusmuuttajien käyttöönotto	33
5.3	Multidrive-taajuusmuuttajat	38
5.3.1	Multidrive-taajuusmuuttajien asennustarkastukset	39
5.4	Multidrive-taajuusmuuttajien käyttöönottotarkastukset	40
5.4.1	DSU-syöttöyksikön käyttöönottotarkastukset	40
5.4.2	LCU-vesilaitoksen käyttöönottotarkastukset	43
5.4.3	Propulsioinverttereiden käyttöönottotarkastukset	46
5.4.4	Keulaohjauspotkuri-invertterin käyttöönottotarkastukset	50
5.4.5	Jarrukatkojen ja jarruvastusten käyttöönottotarkastukset	55
5.4.6	Ylemmän ohjausjärjestelmän käyttöönottotarkastukset	57
6	Ohjauspaikat ja hätälähetin	58
6.1	LBU-hätaohjauspaikka	59
6.2	ECR-ohjauspaikka	59
6.3	Ohjaussilta	61
6.4	Hätälähetin	64
7	Laiturikoe	65
8	Merikoeajo	66
9	Yhteenveto	67
	Lähteet	68
	Liitteet	
	Liite 1. Propulsiotaajuusmuuttajan adaptiivinen ohjelma	
	Liite 2. Keulaohjauspotkurin adaptiivinen ohjelma	

## Lyhenteet

### Merenkulku termistö:

STBD	Starboard, Tyyrpuuri
PORT	Port, Paapuuri
Solas	Safety of Life At Sea, Meriturvallisuus säännöstö
LRS	Lloyd's Register of shipping, Luokituslaitos
DP	Dynamic position, Käytetään pitämään laiva tietyssä paikassa

### Muuntajat:

PTR1	Propulsiomuuntaja, 3300/2x725V 4600kVA, Port-puoli.
PTR2	Propulsiomuuntaja, 3300/2x725V 4600kVA, Stbd-puoli.
PRM1	Pre-magnetizing transformer 1, Esimagnetointimuuntaja 1
PRM2	Pre-magnetizing transformer 2, Esimagnetointimuuntaja 2

### Pääjakotaulu:

HSB1	High Voltage Switchboard, HV pääjakotaulu 3300V 50Hz
HSB2	High Voltage Switchboard, HV pääjakotaulu 3300V 50Hz.
MSB	LV Main Switchboard, LV pääjakotaulu 690V 50Hz
ESB	Emergency Switchboard, LV hätäjakotaulu 690V 50Hz

### Häiriintymättömät teholähteet:

UPS1	Häiriintymätön teholähde 1, Port-puoli.
------	---

UPS2 Häiriintymätön teholähde 2, Stbd-puoli.

**Tehon hallinta järjestelmä:**

PMS1 Tehon hallintajärjestelmä 1, Port-puoli.

PMS2 Tehon hallintajärjestelmä 2, Stbd-puoli.

**Azipod propulsio ja kääntö:**

Azi 1 Azipod -propulsioyksikkö, Port-puoli.

Azi 2 Azipod -propulsioyksikkö, Stbd-puoli.

LBU 1 Paikallinen varaohjauspaneeli, Port-puoli.

LBU 2 Paikallinen varaohjauspaneeli, Stbd-puoli.

OP 1 Propulsio-operaatiopaneeli, Port-puoli.

OP 2 Propulsio-operaatiopaneeli, Stbd-puoli.

FC 1 Azipod 1 propulsiotaajuusmuuttaja, Port-puoli.

FC 2 Azipod 2 propulsiotaajuusmuuttaja, Stbd-puoli.

BR 1 Jarrutusvastus FC 1:lle

BR 2 Jarrutusvastus FC 2:lle

SD1.1 Steering drive 1.1, Azipod 1 kääntötaajuusmuuttaja 1.1, Port-puoli.

SD1.2 Steering drive 1.2, Azipod 1 kääntötaajuusmuuttaja 1.2, Port-puoli.

SD2.1 Steering drive 2.1, Azipod 2 kääntötaajuusmuuttaja 2.1, Stbd-puoli.

SD2.2 Steering drive 2.2, Azipod 2 kääntötaajuusmuuttaja 2.2, Stbd-puoli.

SD1.1-R2	Azipod 1 kääntötaajuusmuuttajan jarrutus vastus 1, Port-puoli.
SD1.2-R2	Azipod 1 kääntötaajuusmuuttajan jarrutus vastus 2, Port-puoli.
SD2.1-R2	Azipod 2 kääntötaajuusmuuttajan jarrutus vastus 1, Stbd-puoli.
SD2.2-R2	Azipod 2 kääntötaajuusmuuttajan jarrutus vastus 2, Stbd-puoli.
RFJ	Rotating fluid joint, Nesteliukurengas

#### **Kauko-ohjaus järjestelmä:**

RCU1	Remote control unit 1, Kauko-ohjausjärjestelmä yksikkö, Port-puoli.
RCU2	Remote control unit 2, Kauko-ohjausjärjestelmä yksikkö, Stbd-puoli.

#### **Moottorit:**

BT1	Bow Thruster 1, Keulaohjauspotkurin moottori 1
BT2	Bow Thruster 2, Keulaohjauspotkurin moottori 2

#### **Taajuusmuuttajat:**

DSU	Diode Supply Unit, Diodisyöttöyksikkö
LCU	Liquid Cooling Unit, Nestejäähdytysyksikkö
INU	Inverter Unit, Invertteriyksikkö
PLC	Ylemmän ohjausjärjestelmän prosessoriyksikkö
RMIO	Taajuusmuuttajan ohjelmistokortti
RDIO	Optiomoduuli Digitaalinen I/O



## 1 Johdanto

Insinööriyön tarkoituksena on käydä läpi erään laivan Compact Azipod -järjestelmän käyttöönottoa, laiturikoetta ja merikoeajoa. Tähän Compact Azipod -järjestelmään kuuluu propulsiomuuntajat PTR1 ja PTR2, propulsiotaajuusmuuttajat ja keulaohjauspotkureiden taajuusmuuttajat FC1 ja FC2, kääntökäyttöjen taajuusmuuntajat, Azipod CO -yksiköt sekä Azipod-yksiköiden ohjausjärjestelmä laivan ohjaussillalta.

## 2 Yritysesittely

ABB on johtava sähkövoima- ja automaatioteknologiayhtymä, jonka pääkonttori sijaitsee Sveitsin Zürichissä. ABB:n palveluksessa on noin 150 000 henkilöä yli 100 maassa, joista Suomessa noin 5500. ABB:n liiketoiminta koostuu viidestä divisioonasta, jotka puolestaan jakautuvat asiakassegmenttien mukaan. ABB muodostettiin tammikuussa 1988 sulauttamalla yhteen ruotsalaisen Asean ja sveitsiläisen Brown Boverin sähkötekniset liiketoiminnot 50:50-omistusperiaatteella. [1;2]

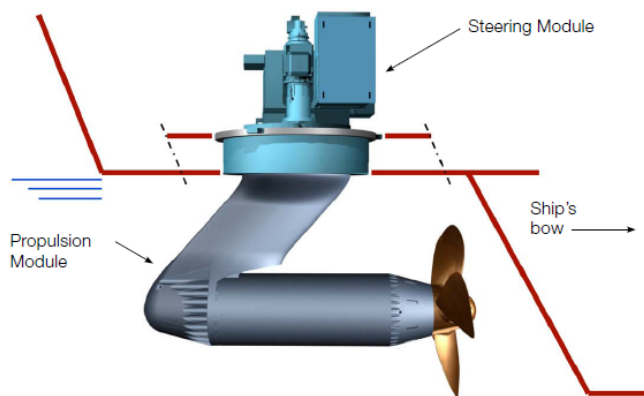
Suomessa ABB toimii yli 30 paikkakunnalla. Tehdaskeskittymät sijaitsevat Helsingissä, Vaasassa ja Porvoossa. Suomessa ABB on yksi suurimmista teollisista työnantajista. Liikevaihto on noin 2,3 miljardia euroa ja tuotekehitykseen käytetään vuosittain noin 193 miljoonaa euroa.

## 3 Compact Azipod

Vuonna 1987 Merenkululaitos teki yhteistyöaloitteen ABB Oy:lle ja Masa-Yards Oy:lle, josta alkoi Azipod-potkurijärjestelmän kehittäminen. Ensimmäinen alkuperäinen Azipod-asennus käyttöönotettiin vuonna 1990 merenkululaitoksen väylänhoitoalukseen MV Seili. Ensimmäiset matkustaja-aluksiin asennettavat Azipod-ruoripotkurit toimitettiin Fantasy-sarjan kahteen viimeiseen laivaan m/s Elationiin ja m/s Paradiseen. Vuonna 2000 aloitettiin Compact Azipod -järjestelmän kehittäminen. Tuotesarja on tarkoitettu erityisesti 5 megawatin propulsiotehon sovelluksiin, esimerkiksi työlaivoihin,

matkustaja-aluksiin ja öljynporausrakennuksiin. Ensimmäinen Compact Azipod toimitettiin norjalaiseen huoltoalukseseen Normand Roveriin vuonna 2001.

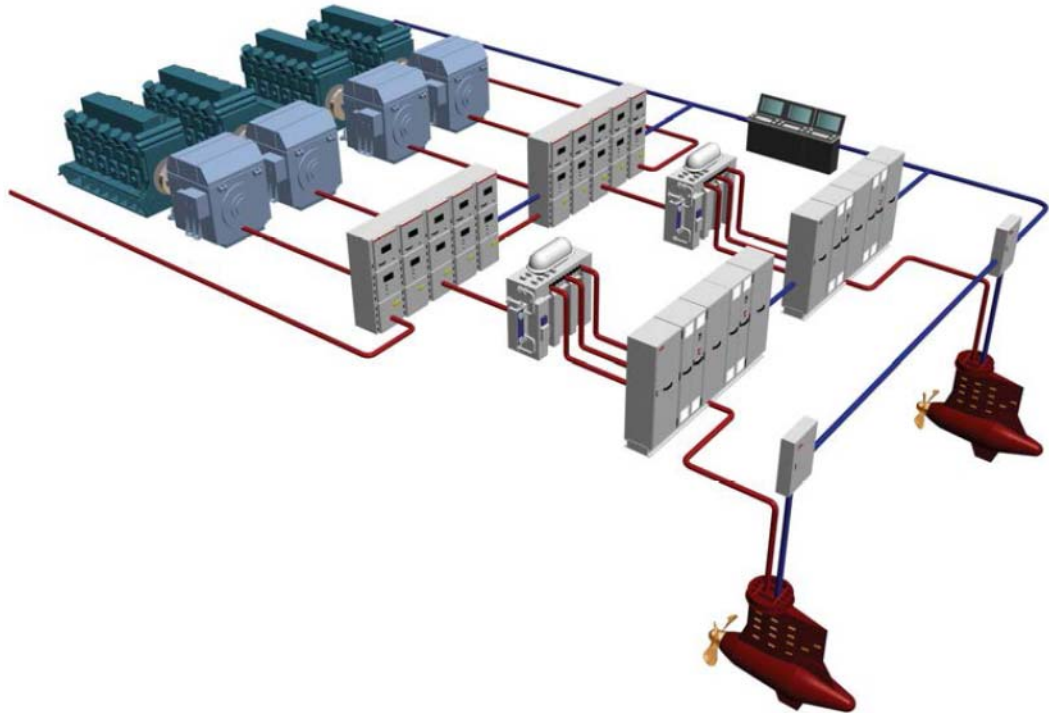
Compact Azipod C -tuotesarjaan kuuluu kaksi erilaista Azipodia. CO-versio avoimille vesille ja CZ-versio suuttimella, jota käytetään esimerkiksi porauslautoilla. Azipod CO on sähköinen pääpropulsio ja ohjausjärjestelmä, joka kehitettiin isompien Azipod-järjestelmien kokemuksen perusteella. Potkurin ohjaus tapahtuu portaattomalla nopeussäädöllä ja propulsiomodulia voidaan kääntää 360 astetta. Azipod CO on suunniteltu ensisijaisesti vetäväksi potkuriksi, joka tarjoaa korkean propulsio tehokkuuden ja polttoaineen säästön. Azipod CO teho alue on 1,3 – 4,5 MW. Azipod-CO on Azipod-perheen pienin propulsiojärjestelmä. Kuvassa 1 on havattavissa Compact Azipod -perusjärjestely. [3]



Kuva 1. Compact Azipod -perusjärjestely. [3]

### 3.1 Dieselsähköinen propulsiojärjestelmä

Dieselsähköinen propulsiojärjestelmä tarkoittaa sitä, että dieselenergia muutetaan sähköiseksi energiaksi, joka pyörittää propulsiota. Laivan pääkoneet, jotka toimivat dieselillä, pyörittävät generaattoreita. Generaattorit syöttävät sähköistä tehoa päätaululle, mistä tämä teho jaetaan kaikille muille pisteille, tähän kuuluu myös propulsio. Kuvassa 2 on dieselsähköisen propulsiojärjestelmän periaatekuva. [4]



Kuva 2. Dieselsähköinen propulsiojärjestelmä. [4]

Sähköisen propulsioon kolme pääkomponenttia ovat:

- Voimalaitos, joka tuottaa sähköisen tehon
- Taajuusmuuttajat, joiden avulla pyöritetään propulsiomootoreita
- Ohjausjärjestelmä, millä ohjataan taajuusmuuttajia.

### 3.1.1 Voimalaitos

Voimalaitos sisältää generaattorit, päätaulun ja tehonhallintajärjestelmän. Tehonhallintajärjestelmä kontrolloi kulutettavaa energiaa tarpeen mukaan ja päättää, kuinka monta generaattoria laitetaan päälle samaan aikaan. Generaattorien tehon määrää diesel-moottorien ohjausjärjestelmä.

### 3.1.2 Propulsiojärjestelmä

Propulsiojärjestelmä koostuu kahdesta pienjännite propulsiotaajuusmuuttajasta (FC1 & FC2), jotka saavat 690 V syöttöjännitteensä propulsiomuuntajien toisilta (PTR1 ja PTR2). Propulsiomuuntajien ensiön 3300 V syöttöjännite tulee suoraan generaattoreilta, mitä ohjataan korkeajännitepäätaulukatkaisijoiden avulla. Propulsiomootorit saavat taas syöttöjännitteensä suoraa propulsiotaajuusmuuttajilta. Propulsiomootorit on yhdistetty akseliin, jotka pyörittävät Azipod-yksikköjen potkureita.

### 3.1.3 Propulsio-ohjausjärjestelmät

Propulsio-ohjausjärjestelmät koostuu laitteista, joilla voidaan ohjata propulsiota. Seuraavia toimintoja ohjataan propulsio-ohjausjärjestelmällä (PCU):

- Propulsiotaajuusmuuttajien käynnistys
- Propulsiotaajuusmuuttajien pysäytys
- Azipod-järjestelmän indikaatiot
- Propulsiomootoreiden nopeuden lisäys ja vähentäminen.

Tämän lisäksi ECR:ssä on kaksi operaattoripaneelia, jotka toimivat operaattoreiden indikointilaitteina Azipod-järjestelmästä. Näillä kosketusnäytöillä voidaan myös kuitata hälytyksiä ja muuttaa tehorojoja propulsiossa. Operaattoripaneelien ja propulsiotaajuusmuuttajien välinen kommunikointi tapahtuu Ethernet TCP/IP-verkossa. Ohjausverkko on suljettu verkko ABB Marinen laitteille ja se käyttää MMS-kommunikointiprotokollaa Ethernet TCP/IP-verkossa.[4]

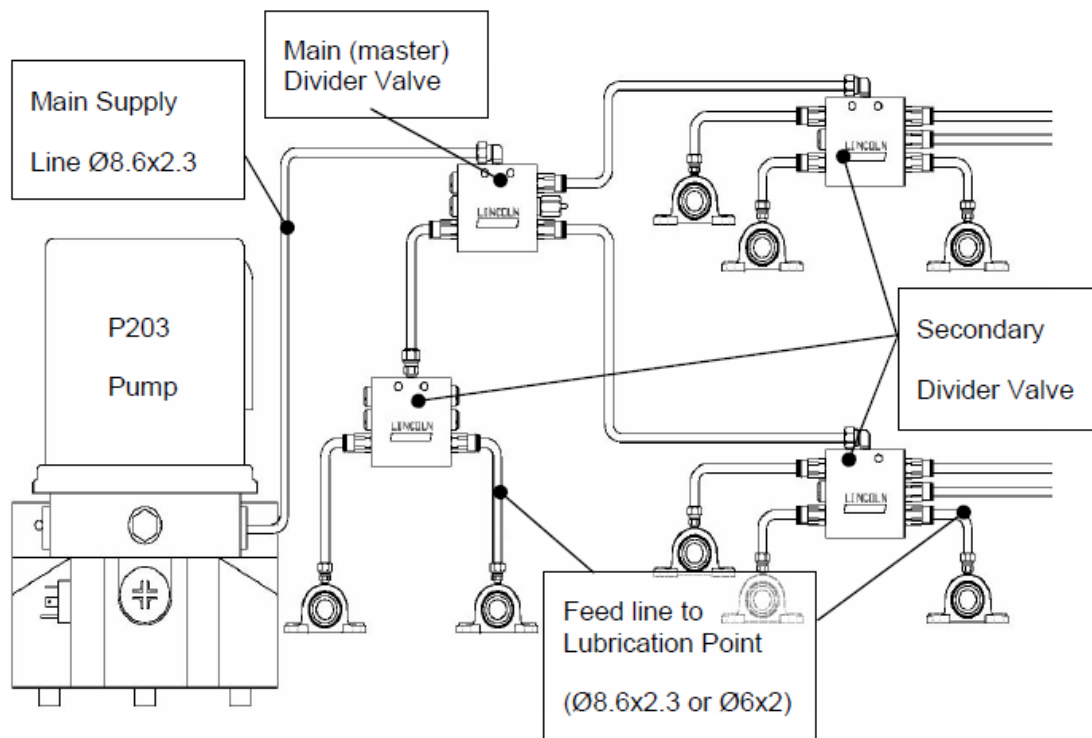
### 3.2 Compact Azipod -käyttöönottotarkastukset

Compact Azipod -järjestelmää käyttöönottaessa on tarkastettava siihen kuuluvien osien ja järjestelmien toimivuus. Osa näistä järjestelmistä on tarkastettu jo tehdasteisteissä (FAT), missä luokituslaitoksen edustaja on hyväksynyt kyseisen järjestelmän toimivuuden ja kirjannut ylös, jos puutteita on esiintynyt. Käyttöönotossa järjestelmien toimivuus testataan kaikkien muiden järjestelmien rinnalla, mitä ei tehdasteisteissä

voida toteuttaa. Seuraavissa kappaleissa käsitellään Compact Azipod -yksikön tarkastuksia mekaanisen asennuksen jälkeen.

### 3.2.1 Rasvausjärjestelmä

Compact Azipod -järjestelmässä käytetään kahta erillistä rasvausjärjestelmää. Ensimmäinen rasvausjärjestelmä on käännottoareiden hammasrattaille ja toinen rasvausjärjestelmä on käännotkehäntiivisteelle ja propulsiomootorin laakerille. Rasvausjärjestelmä sisältää seuraavia komponentteja; pumppu, päärasvanjakajat, apurasvanjakajat, rasvausnipat ja ohjausjärjestelmän rasvauksen ajoitukselle. Rasvausjärjestelmien käynnistys- ja pysäytyskomennot tulevat käännotkäyttötaajuusmuuttajien ja propulsiotaajuusmuuttajan releiden käyntitiedosta. Rasvapumppujen käyntitieto annetaan releiden kärkitietona taajuusmuuttajien ohjaukselle, jota taajuusmuuttajien ohjelma valvoo ja hälyttää, jos pumput eivät pyöri. Kuvassa 3 voidaan havaita rasvausjärjestelmän pääkomponentit.



Kuva 3. Rasvausjärjestelmän pääkomponentit. [5]

Ensimmäisenä tarkastetaan, että rasvapumppujen syöttöjännitteet tulevat oikeille riviliittimille ja etteivät ne ole oikosulussa. Tämän jälkeen avataan rasvapumppujen pohjakannet ja irrotetaan rasvapumppujen ohjaukortit. Ohjaukortista tarkistetaan rasvausaikojen dippikytkimet ja valitaan minuutit ja sekunnit paussi- ja käyntiajoiksi. Tämän jälkeen kumpaankin pumppuun asetetaan paussiaika ja käyntiaika kiertokytkimillä. Kummallakin pumpulla on eri paussi- ja käyntiajat. Ensimmäiselle rasvapumpulle asetellaan käyntiajaksi 16 sekuntia ja paussiajaksi 12 minuuttia, mikä tarkoittaa että tunnissa rasvaa kuluu 5,2g/h. Toiselle rasvapumpulle asetellaan käyntiajaksi 88 sekuntia ja paussiajaksi 60 minuuttia, myös tässä rasvan määrä tunnissa on 5,2g/h. Kuvassa 4 on esitelty rasvapumpun ohjaukortin dippikytkimet ja kiertokytkimet.

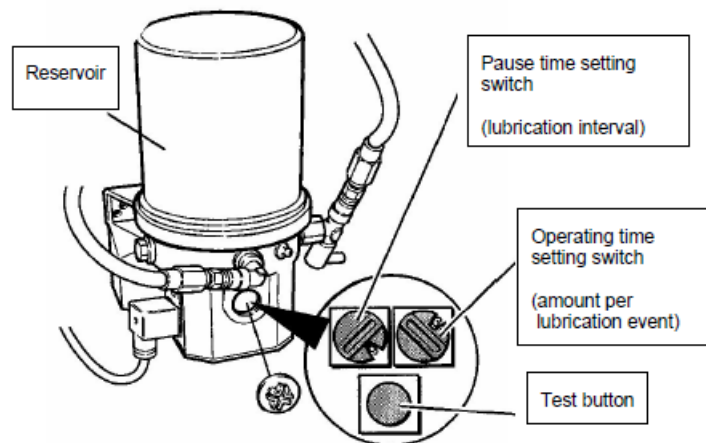


Kuva 4. Rasvapumpun ohjaukortin dippikytkimet ja kiertokytkimet. [5]

Seuraavaksi tarkistetaan, että rasvalinjat eivät ole tukossa ja saamme rasvaa kaikkiin tarvittaviin paikkoihin ja rasvapumppujen ohjaukset toimivat. Kääntökäyttöjen hammasrattaiden rasvausjärjestelmässä avataan rasvanipat moottoreilta, laitetaan rasvapumpun syöttöjännite päälle ja laitetaan rasvapumppu päälle testipainikkeella. Testipainike käynnistää rasvapumpun 15 sekunnin ajaksi ja painiketta painetaan niin kauan, että saamme rasvalinjat täytettyä ja rasvaa ulos moottoreille menevien putkien päistä. Tämän jälkeen rasvanipat kiinnitetään takaisin moottoreiden hammasrattaille. Rasvapumppujen ohjauksen tarkastus toteutetaan seuraavalla tavalla, koska kääntökäyttötaajuusmuuttajien käyttöönotto ei ole vielä alkanut.

Käännön rasvapumpun ohjaus tapahtuu releiden avulla ja releiden kelojen ohjaus tapahtuu negatiivisella kytkennällä. Rasvapumpun ohjausreleille syötetään jatkuvasti +24VDC jännite kelojen A1 terminaaleille. Rasvapumpun käyntikäsky annetaan releen A2 terminaalille, jonne johdetaan +24VDC negatiivinen potentiaali, tämä potentiaali

tulee kääntökäyttöjen käy-tieto releen kärkitietona, jolloin rele vetää ja antaa ohjausjännitteen rasvapumpulle. Rasvapumppu käynnistyy, jos taajuusmuuttajat ovat päällä ja rasvayksikön ohjauskortin ajastin antaa tarvittavan negatiivisen potentiaalireleen kelalle. Rasvapumppu pysyy käynnissä kiertokytkimellä asetetun sekuntimäärän ajan, jos kummankin taajuusmuuttajan käy-tieto katkeaa rasvapumppu pysähtyy. Testin ajaksi ohitettiin taajuusmuuttajien käyntikäsky asettamalla 24VDC jännitteen negatiivinen potentiaali suoraan rasvapumpun käy-releiden kelojen A2 terminaaleille. Tämän jälkeen otettiin kellolla aikaa rasvauksen käynti- ja paussiajoista. Tällä testillä pystyimme toteamaan rasvausajat oikeiksi. Kuvassa 5 voidaan havaita rasvapumpun painikkeiden sijainnit.



Kuva 5. Rasvapumpun kiertokytkimien ja testi napin sijainnit. [5]

Tiivisteiden ja laakereiden rasvajärjestelmien tarkastukset tehdään muuten samalla tavalla, kuin käännön rasvapumpun tarkastus. Ainoina eroina kääntökäyttöjen rasvapumpun tarkastukseen on se, että käyntikäsky tulee propulsiotaajuusmuuttajien käyntitiedosta ja rasvalinjojen täyttö tehdään toisella tavalla.

Rasvalinjojen täytössä rasvan pitää mennä propulsiomoottorin laakerille ja kääntökehän tiivisteelle. Propulsiomoottorin laakerin rasvauksen varmistamiseksi tarkastetaan, että rasvalinjoihin ei ole jäänyt ilmaa. Rasvalinjan putki numero 7 on kytkettynä nesteliukurenkaan (RFJ - Rotating Fluid Joint) kanavaan 7. Nesteliukurenkaan kanava 7 on varattu rasvalinjalle, mutta yleensä tämä kanava on täynnä ilmaa käyttöäotoissa. Rasvapumppu ei pysty työntämään suljetussa rasvausjärjestelmässä rasvaa nesteliukurenkaan läpi, koska ilmapatja työntää rasvan takaisin. Tämän takia tarkistetaan ensin se, että rasva tulee pumpulta

nesteliukurenkaalle painamalla pumpun testipainiketta. Kun rasva saavuttaa nesteliukureenkaan, avataan momenttivarressa sijaitseva 7 linjan liitoskohta ja kytketään nesteliukureenkaan 7 kanavaan käsikäyttöinen rasvaprässi. Rasvaprässillä pumpataan rasvaa nesteliukureenkaan läpi niin kauan, kunnes rasva alkaa tulemaan momenttivarren liitoskohdasta läpi. Tämän jälkeen liitoskohdat suljetaan ja irroitetaan kääntökehän tiivisteiden rasvanipat ja painetaan rasvapumpun testipainiketta, kunnes rasvaa tulee putkien päistä ulos. Rasvapatket kiinnitetään takaisin kääntökehän tiivisteiden nipoille.

### 3.2.2 Lämpötila-anturit ja värähtelyanturit

Lämpötilan valvontaa Azipod-yksikköjen moottoreissa käytetään valvomaan käämien ja laakereiden yllämpötiloja. Laakereiden yllämpötilat voivat johtua alkavasta laakeri viasta. Moottorien käämien eristys on luokkaa F, mikä tarkoittaa, että moottorin käämien eristeelle luvataan 150° celsiusasteen lämmönkesto.

Azipod-yksikössä on 20 kappaletta PT-100 lämpötila-anturia, jotka jakautuvat seuraavanlaisesti propulsiomoottorin vaiheille ja laakereille.

Propulsiomoottorin vaiheet 12 kappaletta PT-100 lämpötila-antureita:

- U-, V- ja W- vaiheiden lämpötilat, jokaiselle vaiheelle on kytketty neljä PT-100 lämpötila-anturia, joista kaksi PT-100 lämpötila-anturia on varalla. Lämpötilatiedot menevät propulsiotaajuusmuuttajalle ja automaatioon.

Propulsiomoottorin laakerit kahdeksan kappaletta PT-100 lämpötila-antureita:

- Moottorin D-pään (Potkuri) laakerille on kytketty neljä kappaletta PT-100 lämpötila-anturia, joista kaksi on varalla. Lämpötilatiedot menevät propulsiotaajuusmuuttajalle ja automaatioon.
- Moottorin N-pään (Työntölaakeri) laakerille on kytketty neljä kappaletta PT-100 lämpötila-anturia, joista kaksi on varalla. Lämpötilatiedot menevät propulsiotaajuusmuuttajalle ja automaatioon.

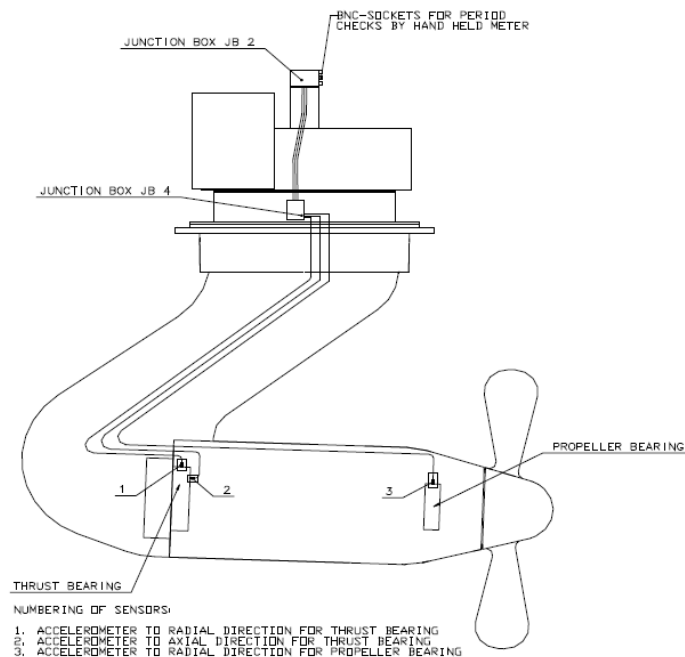


Azipod-yksikön moottorin laakereissa on myös kolme kappaletta värähtelyantureita, joiden avulla voidaan seurata laakereiden kuntoa ja huomata alkavia laakerivikoja:

- Moottorin D-pään (potkuri) laakerin horisontaalinen värähtelymittaus.
- Moottorin N-pään (työntölaakeri) vertikaalinen värähtelymittaus.
- Moottorin N-pään (työntölaakeri) horisontaalinen värähtelymittaus.

Lämpötila- ja värähtelyantureiden johdotukset tulevat moottorimoduulin kautta momenttivarren kytkentärasiaan JB4, mistä johdotukset jatkuvat signaaliliukurenkkaan läpi kytkentärasiaan JB2. Kytkentärasiaissa JB2 on PT-100 antureille häiriönpoistajat ja BNC-liittimet värähtelyantureille. Kuvassa 6 voidaan nähdä värähtelyantureiden sijainnit.

Lämpötila-antureiden toiminnan pystyy helpoimmin toteamaan automaatiosta tai ECR operaattoripaneelistä, josta voi vahvistaa lämpötilojen tiedot automaatioon. Mikäli mittaustulos ei tule automaatioon, tarkastetaan kytkentärasiaasta JB2 mittaamalla kyseinen anturi yleismittarin ohmi-alueella. Anturin mittauksessa tuloksen tulee näyttää  $105\Omega$ - $115\Omega$ , mikä johtuu ympäristön lämpötilasta, joka on tässä tapauksessa noin  $15 - 20^\circ$  celsiusastetta.



Kuva 6. Värähtelyantureiden sijainnit. [6]

Propulsio- ja työntölaakerin kunnonmittaus perustuu värähtelymittauksiin. Värähtelyanturina käytetään normaalia pietsosähköistä kiihtyvyyssanturia, jotka on kiinnitetty kierteillä laakeripesiin. Värähtelyantureiden kunto tarkastetaan käyttöönotossa mittaamalla niiden BIAS-jännite, josta nähdään, että anturi ei ole vioittunut.

### 3.2.3 Resolverit ja potentiometrit

Azipod-yksikössä on kolme resolveria ja yksi potentiometri, joiden tarkoituksena on antaa Azipod-yksikön kulmatieto. Resolverit antavat kulmatiedon kääntökäyttötaajuusmuuttajille ja Autopilot-järjestelmälle. Potentiometri antaa kulmatiedon mekaanisille kulmanäytöille, jotka sijaitsevat ECR:ssä ja ohjaussillalla. Sillan ohjaukskahvojen kulman olotieto tulee myös potentiometriltä.

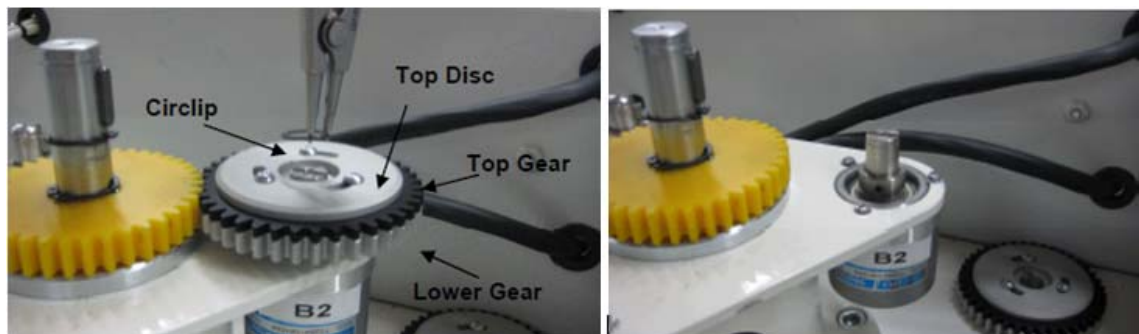
Käyttöönotossa tarkistetaan, että Azipod-yksikön mekaaninen kulma on nollakohdassa. Nollakohdan tarkistus tehdään avaamalla hammaskehän tarkastusluukut, mistä voidaan tarkastaa, että tehtaan tekemät merkit hammaskehään ja runkoon ovat linjassa. Jos hammaskehän ja rungon merkit eivät ole linjassa Azipod-yksikköä joudutaan kääntämään sen verran, että merkit saadaan linjaan. Azipod-yksikköä voidaan pyörittää käsin, avaamalla kääntömoottoreiden jarrut ja pyörittämällä isolla jakoavaimella kolmannen kääntömoottorin N-pään akselista. Kuvassa 7 voidaan havaita hammaskehän merkinnät.



Kuva 7. Hammaskehän ja rungon nollakohdan merkit.

Resolverien säätäminen voidaan aloittaa, kun Azipod-yksikkö on nollakohdassa. Kääntökäyttötaajuusmuuttajien parametrissa 5.02 ACT Angle voidaan lukea resolverin antama kulmatieto taajuusmuuttajalle, jos parametrin lukema ei ole  $0^\circ$  tai toleranssin  $\pm 0.5^\circ$  mukainen joudutaan resolveri säätämään nollakohtaan. Resolveria voidaan säätää kahdella tavalla karkealla säädöllä tai hienosäädöllä. Karkealla säädöllä säädetään ensiksi resolverin kulmatieto  $\pm 5^\circ$  sisään nollakulmasta, minkä jälkeen voidaan hienosäädöllä säätää resolverin ulostuleva kulmatieto  $\pm 0.5^\circ$  sisään nollakulmasta.

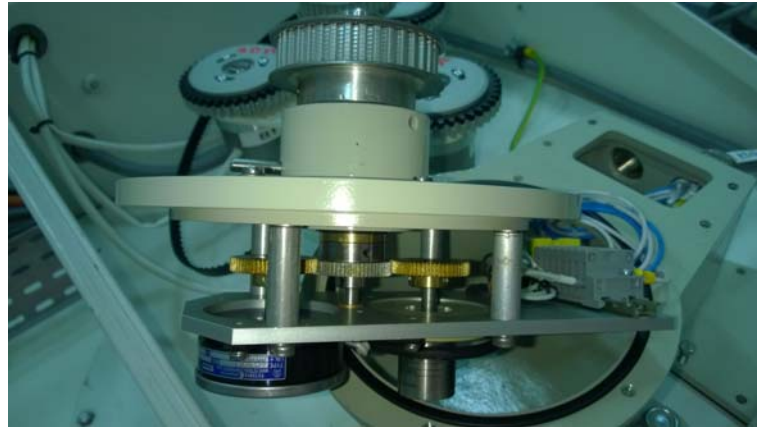
Karkeassa säädössä resolveriin kiinnitetyt hammasrattaat irrotetaan ja resolverin akselia pyöritetään, jotta kulmatieto saataisiin toleranssin  $\pm 5^\circ$  sisään. Tämän jälkeen hammasrattaat kiinnitetään takaisin akseliin kiinni. Hienosäädössä resolverin hammasrattaiden päällimmäisen kiekon kolmea ruuvia löysätään ja tämän jälkeen kiekkoa voidaan pyörittää varovaisesti, jotta saamme kulmatiedon säädettyä lähelle nollakulmaa. Kiristettäessä päällimmäisen kiekon ruuveja kulmatieto voi muuttua. Jos kulma pysyy  $\pm 0.5^\circ$  toleranssin sisällä nollakulmasta, resolverin säätäminen on onnistunut. Kuvassa 8 on havaittavissa resolverin hammasrattaat ja akseli.



Kuva 8. Resolverin hammasrattaat ja akseli. [7]

Resolverien säätäminen yllä kuvatulla tavalla tehdään molemmille kääntökäyttötaajuusmuuttajien resolveille. Kolmas resolveri, joka antaa kulmatiedon Autopilot-järjestelmälle säädetään samalla tavalla, mutta kulmatiedon sijasta mitataan SIN- ja COS-jännitteitä resolverivahvistimelta. Azipod-yksikkö on nollakulmassa, kun resolverin SIN-jännite on 0 V ja COS-jännite +10 V.

Potentiometrin säätö voidaan suorittaa kun resolverit on säädetty nollakulmaan. Resolvereiden yhteinen akseli on kytkettynä potentiometriin moniurahihnalla. Azipod-yksikön kääntyessä resolverien yhteinen akseli kääntyy ja se pyörittää myös potentiometriyksikön akselia. Potentiometriyksikön akseliin on kiinnitetty kaksi potentiometriä, joista toinen antaa SIN/COS-jännitteen mekaanisille kulmaosoittimille ja toinen antaa Azipod-yksikön kulmatiedon 4-20 mA oloarvon sillankahvalle. Kuvassa 9 voidaan havaita potentiometriyksikön sisällä olevat hammasrattaat.



Kuva 9. Potentiometrin hammasrattaat.

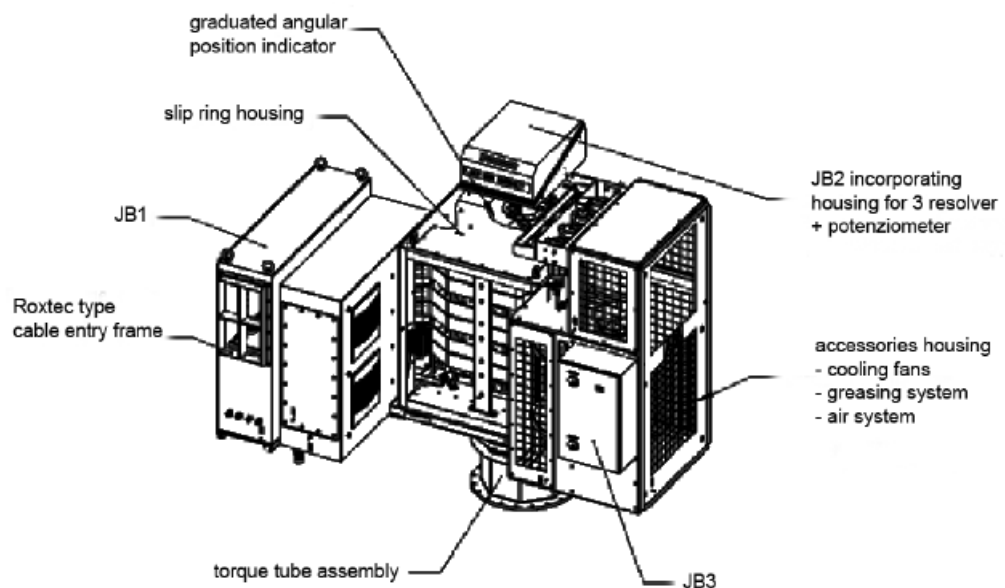
Potentiometrin säätö suoritetaan irrottamalla hammashihna resolveriyksikön ja potentiometriyksikön väliltä, avaamalla potentiometriyksikön kansi ja ottamalla potentiometriyksikkö ulos kotelosta. Ulommainen potentiometri on mittareiden kulmatietoa varten ja sisempi potentiometri sillankahvan olotietoa varten. Irrottamalla ulommaisena potentiometrin hammasrattaan ja pyörittämällä potentiometrien yhteistä akselia saadaan etsittyä sillankahvan nollakulma, joka saavutetaan kun potentiometri antaa ulostuloonsa arvon 10mA. Elektroninen sillankahva kääntyy sillalla, kun potentiometrin akselia pyöritetään. Sillankahvan saavutettaessa nollakulman, voidaan siirtyä säätämään kulmamittareita. Kulmamittareiden potentiometrin hammasratas on irti, joten sen kulmaa voidaan säätää suoraan potentiometrin akselistä, ilman että sillankahvan oloarvo muuttuisi. Kun kulmamittareiden osoittimet näyttävät nollakulmaa, voidaan potentiometrin hammasratas asentaa paikoilleen ja potentiometriyksikkö laittaa takaisin koteloonsa. Tämän jälkeen säädetään potentiometrikotelossa oleva osoitin osoittamaan nollakulmaa. Säättöjen jälkeen kytketään potentiometri- ja resolveriyksikkö toisiinsa hammashihnalla. Kuvassa 10 on havaittavissa resolveriyksikkö ja potentiometriyksikkö toisiinsa kytkettynä.



Kuva 10. Resolveriyksikkö ja potentiometri kytkettynä toisiinsa.

### 3.2.4 SRU-liukurengasyksikkö

Azipod-yksikköä voidaan pyörittää vapaasti 360° akselinsa ympäri, minkä takia normaalia kaapelia syötön ja moottorin välillä ei voida käyttää. Tämän takia Azipod-yksiköissä käytetään liukurengasyksikköä välittämään sähköinen teho moottorille, nesteliukurengasyksikköä välittämään paineilma, rasva ja öljy moottorimoduuliin ja signaaliliukurengasyksikköä välittämään PT-100 lämpötilaantureiden ja värähtelyantureiden johtimet moottorimoduuliin. Kuvassa 11 voidaan havaita SRU-liukurengasyksikön pääosat.



Kuva 11. SRU-liukurengas yksikön pääosat. [7]

SRU-liukurengasyksikkö koostuu seuraavista osista:

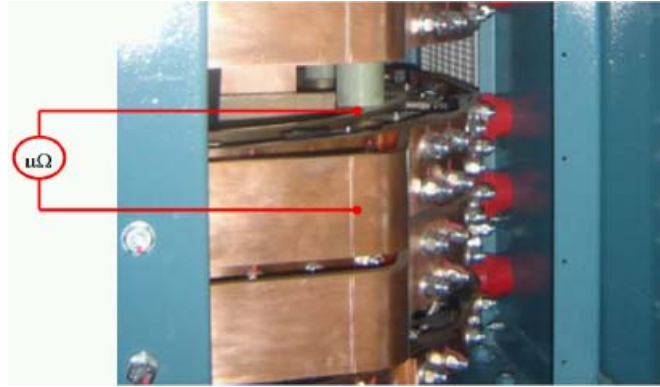
- JB1 kytkentäkotelo
- JB2 kytkentäkotelo
- resolverit ja potentiometri
- rasvausyksikkö
- 3-vaihekatkaisija (propulsiotaajuusmuuttajan ja SRU:n välissä)
- nesteliukurengas
- signaaliliukurengas
- pääliukurengas.

Nesteliukurenkaan tarkastuksessa tutkitaan seuraavat kohdat:

- Rasva menee nesteliukurenkaan läpi, tämä on tarkastettu rasvausyksikön tarkastuksissa.
- Paineilma menee Azipod-yksikön moottorimoduuliin ja palaa tiivisteiden vedenpoistolinjasta.
- Öljyn pinnankorkeuden tarkastus toimii. Avataan venttiilit V19 ja V20 annetaan öljyn valua tarkistus kuppiin QP04. Minkä jälkeen annetaan öljyn valua takaisin avaamalla venttiili V18.

Azipod-yksikön ja propulsiotaajuusmuuttajan välisen 3-vaihekatkaisijan tarkastuksessa tarkistetaan, että katkaisija menee kiinni ja auki käskyjen mukaan. Katkaisijaa ohjataan propulsiotaajuusmuuttajan ohjauskortin releiden avulla. Katkaisija ohjataan kiinni, kun seuraavat ehdot täyttyvät, propulsiomuuttajassa ei ole vikoja ja hätäseis ei ole aktiivisena. Katkaisija avataan seuraavien ehtojen takia, propulsiotaajuusmuuttajaan tulee vika tai hätäseis aktivoituu.

Pääliukurenkaan tarkistuksessa tarkastetaan visuaalisesti liukurenkaiden ja hiiliharjojen kunto. Tämän lisäksi liukurenkaille tehdään mikro-ohmi mittaus käyttöönotossa ja sen jälkeen tietyin huoltotaulukossa ilmoitetuin väliajoin, jotta voidaan seurata hiiliharjojen ja liukurenkaan kuntoa. Kuvassa 12 on merkattu liukurenkaan mikro-ohmi mittauksen mittapiste v-vaiheelle.



Kuva 12. Liukurenkaan mittauspiste V-vaiheelle. [7]

Azipod-yksikköjen liukurenkaille tehtiin mikro-ohmi mittaus käyttöönotossa. Mikro-ohmi mittauksella varmistetaan, ettei liukurenkaan eri vaiheilla olisi toisista eroavia vastus arvoja. Isot vaihtelut vastusarvoissa vaikuttaisivat moottorinohjaukseen ja vaiheiden lämpötiloihin. Mikäli vastusarvoissa olisi suuria eroja, tulisi kyseisen vaiheen hiiliharjojen kunto tarkastaa ja vaihtaa tarvittaessa. Mikro-ohmi mittaukset tehdään käyttöönotossa, jotta voisimme tulevien mittauksen perusteella arvioida liukurenkaiden ja hiiliharjojen kuntoa. Kuvassa 13 on mikro-ohmi mittaukset pääliukurenkaista.

STDB		PORT	
Micro-ohm measurement		Micro-ohm measurement	
Measuring point	Result	Measuring point	Result
U-Phase	0,58	U-Phase	0,89
V-Phase	0,61	V-Phase	3,11
W-Phase	0,63	W-Phase	1,69
Earthing ring		Earthing ring	

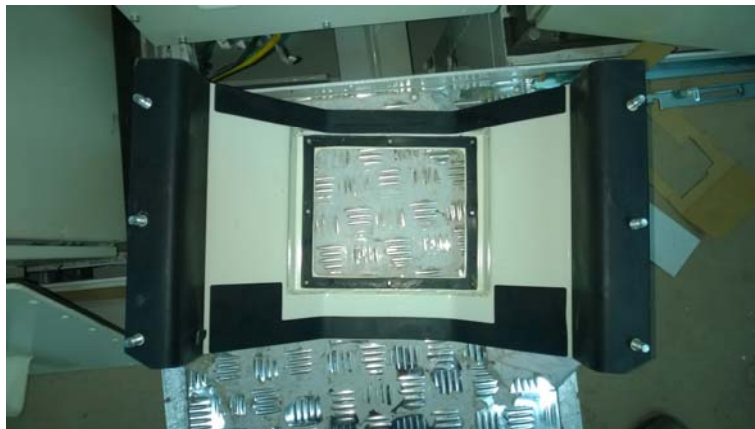
Kuva 13. Azipod 1 ja Azipod 2 käyttöönoton aikainen mikro-ohmi mittaus.

### 3.2.5 Momenttivarsi

Momenttivartea käytetään kytkemään Azipod-yksikön moottorimoduuli ja liukurengasyksikkö yhteen. Momenttivarsi välittää kaiken momentin kääntyvän Azipod-yksikön ja liukurenkaan välillä. Liitos Azipod-yksikön ja liukurenkaan välillä ei voi olla täysin joustamaton, koska se rikkoisi liukurengasyksikön laakeroinnin.

Momenttivarren visuaalisessa tarkastuksessa huomattiin, että momenttivarren puoliskojen liitos oli tehty vanhalla mallilla, jota on muihin Compact Azipod -laivoihin päivitetty. Tässä vanhassa mallissa momenttivarren puoliskojen kiinnitys on toteutettu kuudella 10mm pultilla ja mutterilla. Vanhassa mallissa momenttivarren puoliskojen laippaliitosten välissä on kumit, jotka antavat joustoa laippaliitoksiin.

Momenttivarren puoliskojen liitokseen tehtiin muutos, jossa otettiin laippaliitosten väliset kumit pois ja niiden sijaan laitettiin laippojen väliin ohuita metallilevyjä korjaamaan momenttivarren puoliskojen asentoa. Vanhojen 10mm pulttien tilalle porattiin uudet reiät ja niihin tehtiin kierteet 16mm pulteille. Momenttivarren puoliskot kiinnitettiin 16mm pulteilla ja muttereilla. Kuvassa 14 on vanhan mallin momenttivarren puolisko.



Kuva 14. Momenttivarren puolisko, vanha malli.



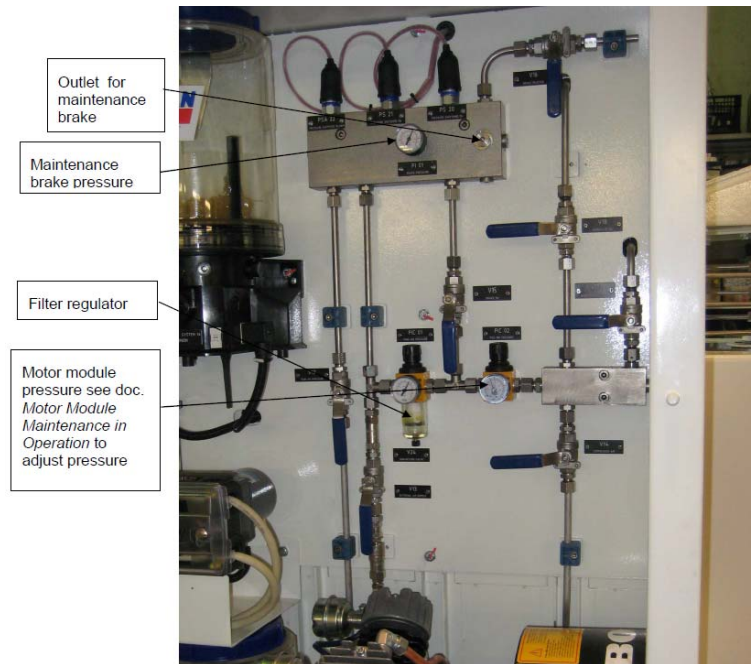
### 3.2.6 Paineilmajärjestelmä

Compact Azipod -yksikössä moottorimoduuli on ylipaineistettuna, potkurin tiivistepaketin takia. Moottorimoduulin ylipaineen määrä riippuu, missä syvyydessä Azipod-yksikön potkuri sijaitsee. Tämän laivan moottorimoduulin paine pitää asettaa 0,7 Bar ylipaineeseen.

Azipod-yksikön pääpaineilma tulee laivan omasta paineilmajärjestelmästä, mikä säädetään 8 bar paineeseen PIC01 paineensäätöventtiilillä. Ilmanpaine säädetään 8 bar paineeseen, koska pneumaattinen akselijarru vaatii 7,6 bar paineen täytyäkseen. Pneumaattinen akselijarru on tarkoitettu vain huoltokäyttöön, sitä ei käytetä normaalioperoinnissa. Seuraavalla samassa linjassa olevalla paineensäätöventtiilillä PIC02 paine säädetään arvoon 0,7 bar, mikä menee Azipod-yksikön moottorimoduulin tiivistepaketin vastapaineeksi.

Azipod-yksikköön kuuluu myös pieni hätäkompressori, joka toimii painekeytkimen avulla. Painekeytkin käynnistää kompressorin jos laivan pääpaineilma laskee tietyn rajan alle ja pysähtyy kun Azipod-yksikössä saavutetaan tavoite paine. Painekeytkimen käynnistysraja säädetään 6,5 bar paineeseen ja pysäytysraja säädetään 0,5 bar:ia korkeammaksi kuin pääpaineilmajärjestelmän paine, eli 8,5 bar paineeseen.

Hätäkompressori testataan kääntämällä pääpaineilman venttiili kiinni, jolloin Azipod-yksikön paine laskee pikkuhiljaa, koska se vuotaa tyhjennyslinjojen kautta valutusastiaan. Kompressori käynnistyy, kun paine laskee alle 6,5 bar paineen ja pysähtyi kun saavutettiin 8,5 bar paine. Testin jälkeen pääpaineilman venttiili avattiin uudestaan. Kuvassa 15 voidaan havaita paineilmajärjestelmän venttiilit.



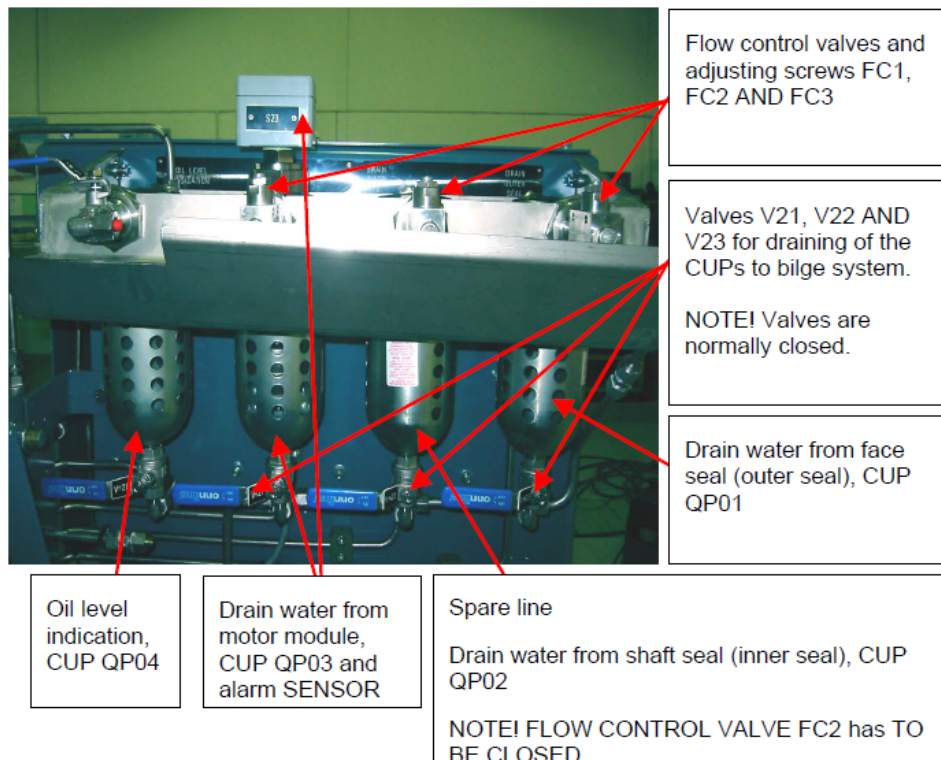
Kuva 15. Paineilmajärjestelmän venttiilit. [8]

### 3.2.7 Azipod-yksikön tyhjennyslinjat

Tyhjennyslinjojen toiminta perustuu siihen, että moottorimoduuli on paineistettuna laivan pääpaineilmajärjestelmän avulla 0,7 bar paineeseen ja putken päät on avonaisina moottorimoduulissa ja tiivistepaketissa. Moottorimoduulissa oleva paine nostaa mahdollisen nesteen tyhjennyskuppeihin, koska kuppien päissä olevat paineen kuristusventtiilit laitetaan vuotamaan tietyllä paineella ilmaa ulos. Tästä syystä paineilmalla on kierto käynnissä kokoajan ja pääpaineilmajärjestelmä työntää kokoajan lisää ilmaa moottorimoduuliin. Azipod-yksikössä on 3 eri tyhjennyslinjaa:

- QP03 Moottorimoduulin tyhjennyslinja
- QP01 Potkurin tiivistepaketin tyhjennyslinja 1
- QP02 Potkurin tiivistepaketin tyhjennyslinja 2.

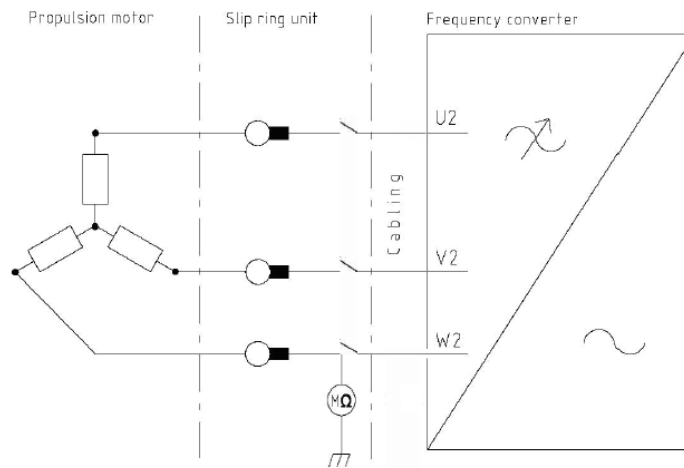
Moottorimoduulin tyhjennyslinjan kuristusventtiili QP03 pitää säätää, sillä tavalla että ilman poistumismäärä olisi noin 30 litraa minuutissa. Potkurin tiivistepaketin tyhjennyslinjojen kuristusventtiilien QP01 ja QP02 ilman poistumismäärä säädetään yhteen litraan minuutissa. Kuvassa 16 voidaan havaita tyhjennyslinjojen sijainnit.



Kuva 16. Tyhjennyslinjojen venttiilien ja kuppien sijainnit. [9]

### 3.2.8 Moottorimoduuli

Compact Azipod -yksikköjen moottoreina käytetään kestomagneettimoottoreita. Moottoreille tehdään eristysvastusmittaus, jolla voidaan todeta moottorin eristeiden kunto ja mahdollinen kosteus moottorimoduulissa. Eristysvastusmittaus tehdään yleensä liukurengasyksiköstä, jolloin joudutaan eristämään propulsiotaajuusmuuttaja liukurengasyksiköstä. Eristäminen täytyy tehdä sen takia, että moottorimoduulin eristysvastusmittaus mitataan 1000VDC jännitteellä ja propulsiotaajuusmuuttajan maksimi mittausjännite on 500 VDC, jos liukurengasta ei eristetä taajuusmuuttajasta voivat taajuusmuuttajan sisäiset piirikortit vahingoittua mittauksen aikana. Eristäminen voidaan tehdä avaamalla liukurenkaan ja propulsiotaajuusmuuttajan välinen 3-vaihekatkaisija. Myös propulsiomoottorin PT-100 lämpötila-anturit täytyy kytkeä maapotentiaaliin JB2 kytkinkotelosta, ennen mittauksen aloittamista. Kuvassa 17 on havainnollistettu miten eristysvastusmittaus tehdään.



$$\frac{1}{R} = \frac{1}{200M\Omega} + \frac{1}{100M\Omega} \Rightarrow R \approx 67M\Omega$$

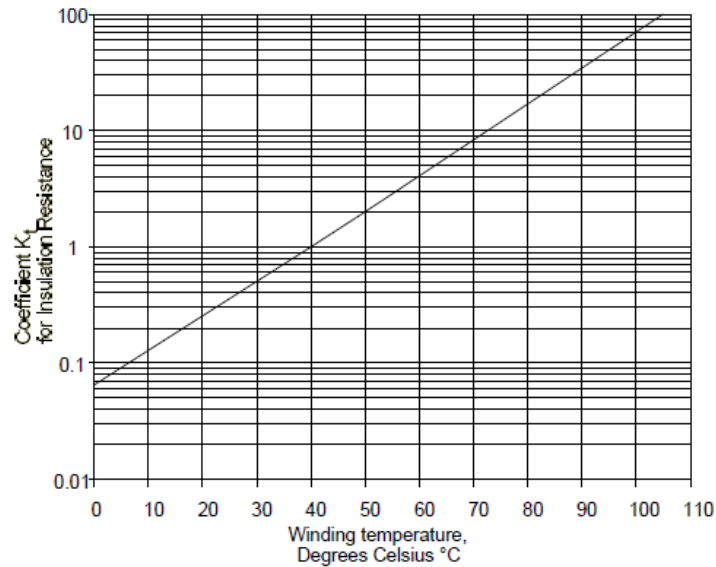
Minimum insulation resistance for motor and slip ring unit in parallel > 67 MΩ)

Kuva 17. Eristysvastus mittaus 1000VDC jännitteellä. [7]

Minimi eristysvastusresistanssi moottorille ja liukurengasyksikölle rinnakkain on oltava enemmän kuin 67MΩ. Erikseen mitattuna propulsiomoottorin minimi eristysvastusarvo on oltava enemmän kuin 100MΩ ja liukurenkaan 200MΩ. Moottorimoduuli ja liukurengasyksikkö voidaan erottaa toisistaan laittamalla eristemuovit hiiliharjojen väliin ja mitata sen jälkeen eristysvastus sisemmän ja ulomman liukurenkaan väliltä.

Eristysvastuksen resistanssi yleensä laskee, kun lämpötila nousee. Tämä voidaan ottaa huomioon laskemalla kerroin  $K_t$ . Mittaamalla käämin lämpötila  $R_m$ , voidaan päätellä kerroin  $K_t$  kuvaajasta. Kuvassa 18 on havaittavissa resistanssin ja lämpötilan välinen korjauskerroin.

$$R_{40^\circ\text{C}} = K_t \times R_m \text{ [6]}$$



Kuva 18. Resistanssin ja lämpötilan välinen korjauskerroin. [7]

Eristysvastusmittaus suoritettiin kummallekin Azipod-yksikölle. Testausjännitteenä käytettiin 1000VDC jännitettä ja testissä otettiin 15 sekunnin ja 60 sekunnin arvot, jotta voidaan laskea polarisaatioindeksi-arvo. Yleensä päädytään arvoihin 1-4, missä arvo 1 tarkoittaa kosteutta ja likaisuutta. Nykyään ei enää PI-arvoa käytetä eristysvastusmittauksissa kestopäällysmoottoreilla, koska on huomattu että polarisaatioindeksi antaa joskus harhaanjohtavia arvoja uudemmilla käämien epoksi eristysaineilla. Kuvassa 19 esitetään Azipod-yksikköjen eristysvastusmittauksien tulokset. [10]

Azi1			
Insulate resistance measurement			
Testing voltage	Time	Result	PI
1000V	15s	850 MΩ	3,60
1000V	60s	3,06 GΩ	
Azi2			
Insulate resistance measurement			
Testing voltage	Time	Result	PI
1000V	15s	503 MΩ	5,09
1000V	60s	2,56 GΩ	

Kuva 19. Eristysvastusmittaukset Azipod -yksiköille.

Eristysvastusmittauksissa kummankin Azipod-yksikön propulsiomoottorin eristysvastus ja polarisaatioindeksi oli erittäin hyvä. Mittauksien perusteella moottorimoduulien eristys maapotentiaalia vastaan on riittävä ja ylimääräisiä maadoituksia ei ole kytketty. Näiden mittausten perusteella Azipod-yksikköjen propulsiomoottorit voidaan sähköistää. Peukalosääntönä minimiarvoa PI-arvolle F-luokan eristyksillä olevalle Compact Azipod -yksiköille käytetään seuraavaa laskukaavaa polarisaatioindeksille:

$$PI = 2,5 \quad \text{where } PI = \frac{R_{1min}}{R_{15s}} \quad [10]$$

#### 4 Propulsiomuuntajat 3,3kV

Laivassa on kaksi vesijäähdytteistä propulsiomuuntajaa PTR1 ja PTR2, jotka syöttävät multidrive-taajuusmuuttajia FC1 ja FC2. Propulsiomuuntajien ensiölle syötetään 3,3kV generaattoreilta ja muuntajien toisiopuolelta saadaan 690V pääjännite multidrive-taajuusmuuttajille.

##### 4.1 Muuntajien käyttöönottotarkastukset

Muuntajien käyttöönoton tarkoituksena on varmistaa, että muuntajat on turvallista kytkeä sähköverkkoon ja tarpeelliset lukitukset toimivat. Muuntajien käyttöönottotarkastus sisältää seuraavat kohdat:

- mekaaninen asennus
- maadoitukset
- ohjauskaapelit
- syöttö- ja lähtökaapelit
- esimagnetointimuuntaja.

#### 4.1.1 Mekaanisen asennuksen tarkastus

Mekaanisen tarkastuksen tavoitteena on etsiä mahdollisia puutteita mekaanisessa asennuksessa, kuten irrallisia tukirakenteita. Muuntajien kiinnitys lattiaan täytyy tehdä joko pulteilla tai hitsaamalla. Tarkastuksessa todettiin, että muuntajat ovat kiinnitetty laivan runkoon pulteilla.

Muuntajien sisäpuolen mekaanisessa tarkastuksessa kiinnitetään huomiota tukirakenteisiin, niiden kiinnityksiin ja yleiseen puhtauteen. Muuntajien sisäpuoliset tukirakenteet ja kiinnitykset olivat kunnossa. Ennen muuntajien sähköistämistä muuntajat täytyy kuitenkin puhdistaa sisäpuolelta.

#### 4.1.2 Maadoitukset

Pääsääntönä muuntajien maadoituksen tarkastukseen käytetään niin sanottua peukalosääntöä. Siinä sanotaan, että syöttökaapelin poikkipinta-alasta puolet on riittävä maadoitus runkoon. Muuntajissa syöttökaapelin pinta-ala on  $95\text{m}^2$  joten riittävä maadoitus olisi  $47,5\text{m}^2$ . Muuntajat on kuitenkin maadoitettu kahdella vähintään  $50\text{m}^2$  lattakaapelilla.

#### 4.1.3 Ohjauskaapelit

Ohjauskaapeleiden tarkastukseen muuntajissa sisältyy:

- Käämien lämpötilamittaukset PT-100 lämpötila-antureilta.
- Muuntajien sisälämpötilojen mittaukset PT-100 lämpötila-antureilta.
- Esimagnetoinnin vikaantumisen tilatiedon mittaus.
- Vesivuoto antureiden toiminnan tarkastus ja tilatiedon mittaus.
- Ilmanvirtaustilatiedon mittaus.
- Muuntajien puhallinmoottoreiden tilatietojen mittaus.
- Muuntajien puhallinmoottoreiden käynnistys- ja pysäytyskäskyt.
- Esimagnetoinnin käynnistys- ja pysäytyskäskyt.
- Propulsiomuuntajien katkaisijoiden auki/kiinni ohjauskäskyt.

- Propulsiomuuntajien katkaisijoiden releiden tilatiedot automaatioon.

Kaikki propulsiomuuntajien signaalit käydään läpi mittaamalla. Mittaus suoritetaan irrottamalla johtimen toinen pää riviliittimestä ja kytkemällä se runkoon, minkä jälkeen johtimen toisesta päästä mitataan yleismittarin ohmialueella johtimen ja rungon väliltä. Jos johdin on oikea, mittaus tulos on  $0,5\Omega - 10\Omega$ . Tämä mittaus suoritetaan, jotta voimme ehkäistä kaapelointivikoja ja kaikki katkasijan sekä automaation turvatoimet ovat käytössä.

#### 4.1.4 Syöttö- ja lähtökaapelit

Propulsiomuuntajien syöttö- ja lähtökaapeleille tehdään visuaalinen tarkastus, ettei kaapeleiden eristeisiin ole tullut vaurioita asennuksessa. Kaapeleille tehdään myös korkeajännite ja eristysvastusmittaus.

Korkeajännitetestissä jokaiseen vaiheeseen syötetään 11kV jännite 15 minuutin ajaksi. Samalla mitataan vuotovirtaa maapotentiaaliin nähden. Tämä vuotovirta saa olla maksimissaan 0,2 Ampeeria. Eristysvastusmittauksessa mitataan kaapelin johtimen ja maapotentiaalin välistä resistanssia. Eristysvastusmittauksella saadaan varmistettua riittävä eristys maasta ja ettei suojamaata ole kytketty vaiheisiin.

Syöttö- ja lähtökaapeleille tehdään myös LCR mittarilla vaihetesti, jotta pystymme toteamaan, että kaapelit on kytketty oikeisiin vaiheisiin. Mittaukset suoritetaan korkeajännitepäätaululta propulsiomuuntajille ja propulsiomuuntajilta FC1 ja FC2 taajuusmuuttajien syötöille. Kuvassa 20 on esitetty muuntajan ensiön ja pääjakotaulun välinen LCR mittauksen tulokset.

PTR-HSB ensiö LCR Mittaukset				
PTR1			HSB03	
Vaihe	Mittaustapa	Tulos	Vaihe	Muut vaiheet
U	Maata vasten	5,9 $\mu$ H	L1	1 mH
V	Maata vasten	5,9 $\mu$ H	L2	1 mH
W	Maata vasten	5,5 $\mu$ H	L3	1 mH

Kuva 20. PTR1 ensiöpuolen LCR mittaukset



Testituloksia tarkastellessamme näemme, että mitattaessa muuntajalta syöttövaihetta maata vasten ja samalla HSB:n päässä maadoitettaessa kyseinen vaihe saamme pienen mH arvon mitattaessa maita vasten. Tämä tarkoittaa sitä, että kyseinen kaapeli on maadoitettuna runkoon ja voimme todeta kummassakin päässä olevan sama kaapeli. Tämä tapa on tarkempi tapa kuin mitata ohmi alueella maita vasten todetakseen, että kaapelointi on oikein. Kaikki muuntajien pääkaapelit mitattiin samalla tavalla.

#### 4.1.5 Esimagnetointimuuntaja

Isoja muuntajia käynnistäessä muuntajan käämit pitäisi esimagnetoida, ennen kuin sinne syötetään pääjännite 3,3kV. Ilman esimagnetointia muuntaja ottaa ison virtapiikin käynnistyksessä. Tätä varten meillä on esimagnetointimuuntaja PRM1 ja PRM2, jotka syöttävät muuntajille 690V jännitteen ennen käynnistystä ja esimagnetoi muuntajat. Tämän jälkeen muuntajalta annetaan esimagnetointi valmis signaali propulsiotaajuusmuuttajan PLC:lle, joka poistaa esimagnetointilukituksen, minkä jälkeen muuntaja on valmis käynnistettäväksi.

## 5 Taajuusmuuttajat

Taajuusmuuttaja on laite, jolla voidaan ohjata ja säätää sähkömoottorin pyörimisnopeutta tai momenttia. Vaihtosähkömoottorin pyörimisnopeus on verrannollinen siihen syötettävän jännitteen taajuudesta. Taajuusmuuttajan rakenne voidaan jakaa neljään eri osaan:

- tasasuuntaaja
- välipiiri
- vaihtosuuntaaja
- ohjauspiiri.

Taajuusmuuttajan toimintaperiaate on yksinkertaistettuna seuraavanlainen. Ensimmäiseksi taajuusmuuttajaan syötetty sinimuotoinen vaihtojännite tasasuunnataan, eli muutetaan tasajännitteeksi. Tässä tasajännitteessä on vielä häiriöitä, joten se pitää suodattaa. Jännitteen tasoittaminen tapahtuu välipiirissä olevilla

kondensaattoreilla, jotka tasoittavat jännitteen ja toimivat samalla energiavarastona kommutointien yhteydessä, jolloin välipiirissä oleva DC-jännite pysyy vakaana. Viimeisenä vaihtosuuntausyksikkö muuttaa suodatetun tasajännitteen halutun taajuiseksi vaihtojännitteeksi, joka lopuksi syötetään ohjattavalle moottorille. [11]

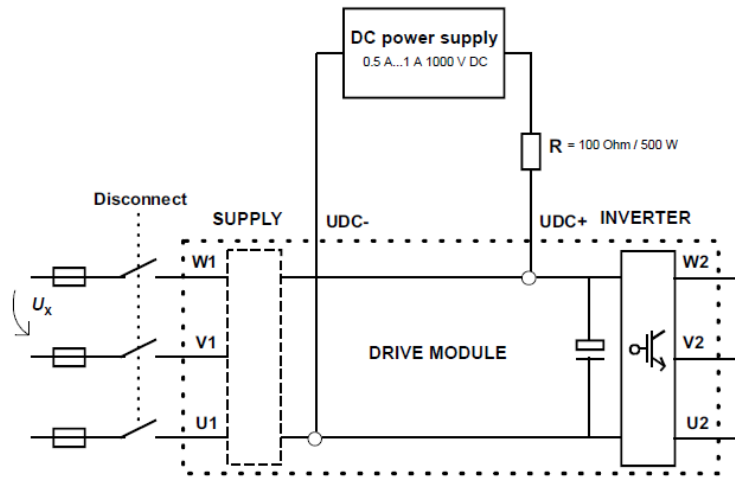
### 5.1 DC-välijännitepiirin kondensaattoreiden elvytys

Tämän laivan taajuusmuuttajat ovat välijännitepiirillisiä taajuusmuuttajia. Taajuusmuuttajissa käytetään elektrolyyttikondensaattoreita energian varastointiin DC-välijännitepiiriin. Elektrolyyttikondensaattoreiden oksidikerros heikkenee pitkän varastoinnin seurauksena. Tästä johtuen elektrodien välissä ei ole enää eristemateriaalia ja kondensaattori on oikosulussa. Taajuusmuuttajien DC-välijännitepiirin kondensaattorit täytyy elvyttää, jos taajuusmuuttajat ovat olleet varastoituna yli vuoden ja niitä ei ole sähköistetty. [12;13]

Taajuusmuuttajien valmistusvuoden voi tarkistaa laitteen sarjanumerosta. Laivassa käytetyt taajuusmuuttajat on valmistettu 2009 viikolla 50, eli ne ovat olleet varastoituna 4 vuotta. Taajuusmuuttajien kondensaattoreiden elvyttämiseen käytetään Finero FST-DCP 1500-5 DC-jännitelähdettä, joka kytketään taajuusmuuttajan DC-välijännitepiiriin. Jännitelähteen kytkeminen DC-välijännitepiiriin on havainnollistettu kuvassa 21. Kondensaattoreiden elvytyksessä virranarvo on rajoitettava 0,5A, jotta virran nousunopeus ei kasvaisi liian suureksi. Sopiva DC-jännite elvytykseen on:

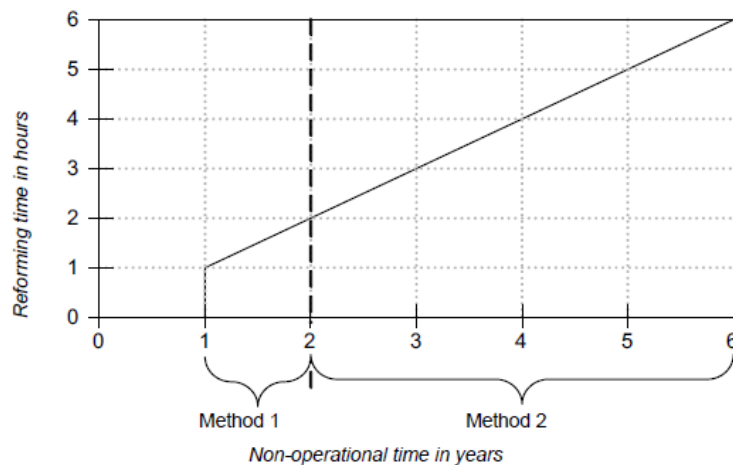
Elvytysjännite =  $(1,35...1,45) \times U_x$ , missä  $U_x$  on taajuusmuuttajan syöttöjännite. [13]

Elvytysjännite =  $(1,35...1,45) \times 690V = 930,5 V - 1000,5 V$



Kuva 21. DC-jännitelähteen kytkeminen DC-välijännitepiiriin. [13]

Elvytettävän taajuusmuuttajan välijännitepiiriin jännite nostetaan 931-1000 VDC, jotta kondensaattorit heräisivät. Jännite pidetään kyseisessä arvossa 4 tuntia, koska taajuusmuuttajat ovat olleet varastoituna 4 vuotta. Kuvassa 22 on havainnollistettu herätysajan suhde varastointiaikaan.



Kuva 22. Kondensaattoreiden herättely ajan valitseminen. [13]

### 5.1.1 Multidrive-taajuusmuuttajien kondensaattoreiden elvytys

FC1 ja FC2 taajuusmuuttajissa on kummassakin 11 invertterimoduulia, joiden välipiiriin kondensaattorit täytyy elvyttää. Yhdessä multidrive-taajuusmuuttajassa on 10 invertterimoduulia propulsiomoottorille ja 1 invertterimoduuli keulaohjausmoottorille. Invertterimoduulit ovat yhteydessä toisiinsa taajuusmuuttajan yhteisellä DC-kiskolla.

Invertterimoduulit elvytetään yksi kerrallaan, joten invertterimoduulit irrotetaan sitä varten DC-kiskosta. Tämän jälkeen kytketään DC-jännitelähde invertterimoduulin DC-kiskojen + ja – kiskoihin. Virtaraja DC-jännitelähteessä asetetaan 0,5A ja jännite nostetaan hitaasti 950 VDC ja pidetään tässä arvossa 4 tuntia.

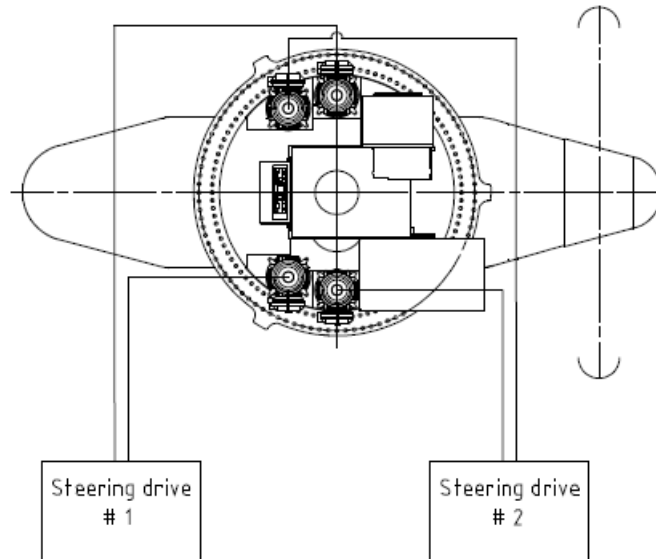
### 5.1.2 Kääntökäyttötaajuusmuuttajien kondensaattoreiden elvytys

Kääntökäyttötaajuusmuuttajien elvytyksessä, irrotetaan taajuusmuuttajille kytketyt jarruvastukset ja kytketään DC-jännitelähde UDC+ ja UDC- liittimille. Tämän jälkeen DC-jännitelähteen virtaraja asetetaan 0,5A ja nostetaan jännite hitaasti 950 VDC. Herättelyjännite pidetään tässä arvossa 4 tuntia.

## 5.2 Kääntökäyttötaajuusmuuttajat

Kääntökäyttötaajuusmuuttajia käytetään pyörittämään neljää sähkömoottoria, joiden akselit on kytketty kääntökehän hammasrattaille. Kääntökehallä pystytään kääntämään Azipod-yksikön kulmaa. Taajuusmuuttajat ovat tyypiltään ACS800-0175-7, näissä taajuusmuuttajissa käytetään system application-ohjelmistoa, johon ABB Marine on tehnyt muutoksia, jotta se vastaisi kääntöyksikön tarpeita. Sähköisessä kääntöyksikössä on kaksi taajuusmuuttajaa (kääntökäyttötaajuusmuuttajaa), joista kumpikin pyörittää kahta erillistä sähkömoottoria. Kummallekin taajuusmuuttajalle tulee erillinen syöttöjännite. Toisen taajuusmuuttajan syöttöjännite 690V tulee MSB jakotaululta ja toisen taajuusmuuttajan syöttöjännite 690V tulee ESB hätäjakotaululta. Syöttöjännitteet tulevat eri jakelutauluilta, koska tällöin pystytään pitämään kääntöyksikkö toiminnassa vaikka laivan pääsähköverkkoon tulisi sähkökatkos. Sähkökatkoksen sattuessa hätägeneraattori käynnistyy ja alkaa syöttää 690V jännitettä ESB hätäjakotaululle, josta toinen kääntötaajuusmuuttaja saa syöttöjännitteensä.

Sähköisen kääntöyksikön perusidea on säilyttää korkea varmistusaste, yksikään yksittäinen vika, paitsi sähkökatkos ei saa aiheuttaa täydellistä ohjauksen katoamista. Yksittäisissä vioissa sallitaan 50 % momentin häviö täydestä tehosta yhdellä kääntöyksiköllä. Kuvassa 23 voidaan havaita kääntöyksikön moottorijärjestys ja sijainti kääntökehallä. [14]



Kuva 23. Sähköisen kääntöyksikön moottorijärjestys kääntökehällä. [14]

### 5.2.1 Isäntä/Seuraajalogiikka ja paikoitusohjaus

Taajuusmuuttajissa käytetään isäntä/seuraajalogiikkaa hoitamaan moottorien välisen kuormanjaon. Isäntäyksikkö on nopeus ohjattu ja seuraajayksikkö seuraa isäntäyksikön momenttiohjetta. Taajuusmuuttajien nopeudenmittauksen takaisinkytkentään käytetään enkoodereita, jotka on kytketty moottoreiden N-pään akseleihin.[14]

Taajuusmuuttajien isäntä/seuraaja vaihdokset toimivat automaattisesti seuraavanlaisesti:

- Hälytyksen sattuessa isäntätaajuusmuuttajassa, seuraajasta tulee isäntä ja 100 % kääntömomentti on mahdollinen.
- Vian tullessa vain toiseen taajuusmuuttajaan. Toinen taajuusmuuttaja tulee isännäksi ja toisen taajuusmuuttajan syöttö katkeaa ja vain 50 % kääntömomentti on mahdollinen.

Paikoitusohjaus on yksi kääntöyksikön päätoiminnoista, taajuusmuuttajat käyttävät kahta eri paikoitustapaa riippuen ohjauspaikasta, seuraamistapa (Follow up mode) ja yksittäistapa (Non-follow up mode). Seuraamistapa on aina päällä, kun kääntöyksikköä ohjataan RCU:n kautta ja yksittäistapa on päällä ohjauksen ollessa hätäohjauspaikalla tai LBU:lla.

Seurantatavassa käytetään takaisinkytkentäsäätötapaa. Taajuusmuuttajat saavat kulmaohjeen RCU:n kautta ja vertaavat annettua kulmaohjearvoa Azipod-yksikön todelliseen kulmaan. Tämän jälkeen taajuusmuuttajat kääntävät Azipod-yksikön lyhimmän reitin kautta ohjearvoonsa.

Yksittäistavassa Azipod-kääntöyksikköä ohjataan taajuusmuuttajien digitaalisten sisääntulojen avulla. Azipod-yksikköä voidaan kääntää Port ja Stbd suuntiin pitämällä kyseistä painonappia painettuna.

### 5.2.2 Pysäköintijarru

Kääntömoottoreiden N-pään akseleihin on myös kytketty sähköiset pysäköintijarrut, joiden tarkoitus on pitää Azipod-yksikkö samassa kulmassa, jos kumpikin taajuusmuuttaja on pois päältä tai vikatilanteessa.[14]

Pysäköintijarrut ovat päällä, vain seuraavien ehtojen täytyessä:

- Molemmat kääntökäyttötaajuusmuuttajat ovat pois päältä
- Molemmat kääntötaajuusmuuttajat, ovat vikaantuneet
- Täydellisessä sähkökatkoksessa.

Sähköinenpysäköintijarru toimii seuraavanlaisesti. Kääntötaajuusmuuttajien moduloidessa, taajuusmuuttajien RMIO-kortin relelähtö RO2 vetää ja syöttää 230V jännitteen jarrunohjauskortille. Ohjauskortti tasasuuntaa vaihtojännitteen tasajännitteeksi ja syöttää 207VDC jännitteen jarrun kelalle. Kela toimii sähkömagneettina, joka nostaa jarrulevyn vastakappaleen ylös. Vastakappaleen ylösnostaminen vapauttaa jarrun. Kahden sekunnin kuluttua kelan sähköistämisestä jarrunohjauskortti puolittaa kelan ohjausjännitteen 107VDC, koska tällä tavalla saadaan kelan lämpötila pysymään pienempänä. Jarrujen keloihin on integroitu kaksi mikrokytkintä, jotka antavat jarrun auki/kiinni-tilatiedon taajuusmuuttajille. Tilatietojen avulla taajuusmuuttaja antaa jarruhälytyksen, jos jarru ei ole auennut käynnistyksessä tai jarru menee kiinni ajon aikana. Pysäytettäessä taajuusmuuttajien RMIO-kortin relelähtö RO2 aukeaa ja kelan syöttö katkeaa, mistä johtuen sähkömagneetti ei pidä jarrulevyä enää nostettuna. Jarrulevyn vastakappaleen ja kelan välissä on jousia mitkä työntävät vastakappaleen jarrulevyyen kiinni, kun kela ei ole sähköistettyä.

### 5.2.3 Kääntöyksikön ohjauspaikat

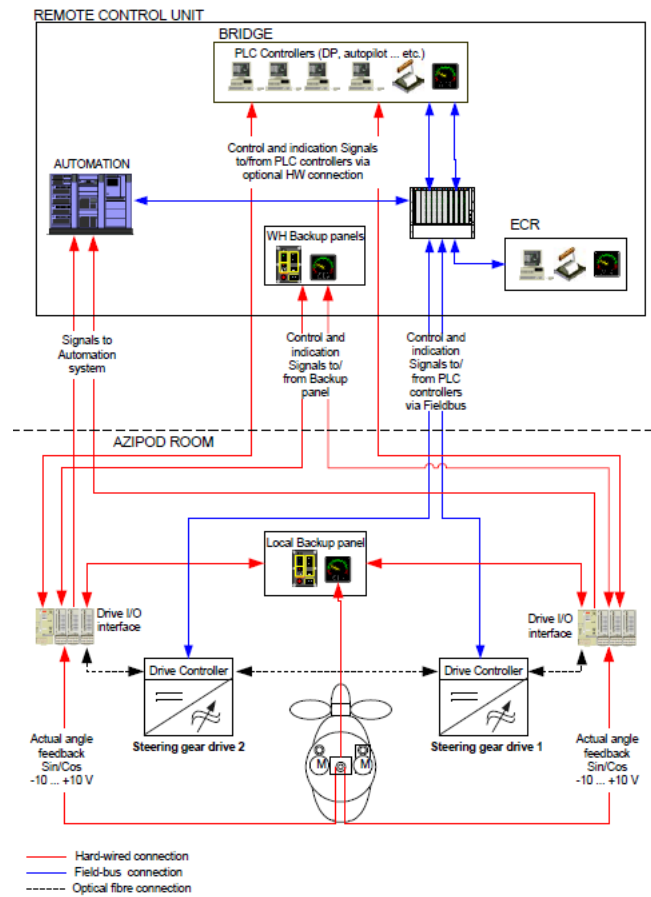
Compact Azipod -kääntöyksikön ohjauksessa käytetään kahta erillistä ohjaustasoa, kauko-ohjausta RCU (Remote Control Unit) kautta ja suoraan taajuusmuuttajien I/O-moduuleihin kytketyillä hätäohjauspaikkojen (sillan hätäohjauspaikka ja LBU) kautta. Kaikki Azipod-yksikön ohjauslaitteet on kytketty RCU:n, paitsi sillan hätäohjauspaikka ja LBU. Kääntötaajuusmuuttajien ohjaus toteutetaan kolmella standardiohjauspaikalla, jotka ovat toisistaan riippumattomia.

Standardi ohjauspaikat:

- kauko-ohjaus RCU
- sillan hätäohjauspaikka
- paikallisohjauspaikka, joka sijaitsee Azipod huoneessa.

Sillan hätäohjauspaikka ja LBU sisältää kiinteästi kytketyt johtimet ohjauspaikan valitsemiseen ja kääntöyksikön ohjaukseen. Johdotukset ovat kytketty suoraan taajuusmuuttajien I/O-rajapintaan. Sillan hätäohjauspaikalla on korkeampi prioriteetti, kuin kauko-ohjauksella ja LBU:lla on korkein ohjauspaikkaprioriteetti. Kääntökäyttötaajuusmuuttajat seuraavat automaattisesti korkeimman valitun ohjauspaikan ohjearvoa. Kuvassa 24 voidaan havaita Azipod-kääntöyksikön ohjaustasot. Azipod-yksikön kääntönopeudet riippuvat, mistä sitä ohjataan ja ovatko kääntöyksikön kumpikin taajuusmuuttaja päällä:

- Silla hätäohjauspaikalta tai LBU:lta ohjattuna saavutetaan hidas kääntönopeus 6 °/s.
- Kauko-ohjauksella RCU:n kautta ohjattuna saavutetaan nopea kääntönopeus 12 °/s.
- Jos Azipod-kääntöyksikön toinen taajuusmuuttaja on pois päältä saavutetaan vain hidas kääntönopeus 6 °/s.



Kuva 24. Compact Azipod-kääntöyksikön ohjauksen tasot. [4]

RCU:ta käytetään seuraaviin ohjaustoimintoihin kääntöyksikössä:

- Ohjauspaikkojen vaihtamiseen sillan keskikonsolin ja Stbd / Port siipiohjauspaikkojen välillä. Sillan hätäohjauspaikkaan RCU ei vaikuta.
- Ohjauksen ohjearvon lähettämiseen sähkökahvoilta kääntöyksikön taajuusmuuttajille.
- Kääntötaajuusmuuttajien valvontaan automaation kanssa.

Kääntöohjaustaajuusmuuttajat hoitavat taajuusmuuttajien sisäiset toiminnot RCU:n signaalien perusteella. Kääntökäyttötaajuusmuuttajien toiminnot ovat:

- Ohjauspaikan hallinta RCU:n, Sillan hätäohjauspaikan ja LBU:n (Local Backup Unit - Paikallisohtaus) välillä
- Azipod-yksikön paikoitusajon ja kääntöjärjestyksen.
- Isäntä/seuraajalogiikan toiminnot taajuusmuuttajien välillä.



- Pysäköintijarrujen ohjauksen, käynnistyksien ja pysähtymisien välillä.
- Normaalit taajuusmuuttajan sisäiset operaatiot ja valvonnat.

#### 5.2.4 Kääntötaajuusmuuttajien käyttöönotto

Normaalisti taajuusmuuttajien käyttöönotossa aloitettaisiin parametroinnilla ja ID-ajojen suorittamisella, millä saadaan tehtyä sähköinen moottorimalli taajuusmuuttajan ohjauksortille. Moottorimallia käytetään moottorinohjauksen optimaaliseen säätöön DTC-ohjauksella. Tässä tapauksessa suurin osa parametroinnista on tehty tehdastestien aikana, myös ID-ajot on tehty tehtaalla valmiiksi, jottei sähkömoottoreita tarvitsisi irrottaa kääntökehältä käyttöönotossa. Virallisissa tehdastesteissä on testattu kaikki kääntötaajuusmuuttajien toiminnot valmiiksi ja luokituslaitoksen edustaja on hyväksynyt kaikki testit. Käyttöönotossa testataan kaikki järjestelmät yhdessä muiden järjestelmien kanssa ja etsitään mahdolliset kaapelointiviat. Taajuusmuuttajien mahdolliset hienosäädöt suoritetaan myös käyttöönoton aikana.

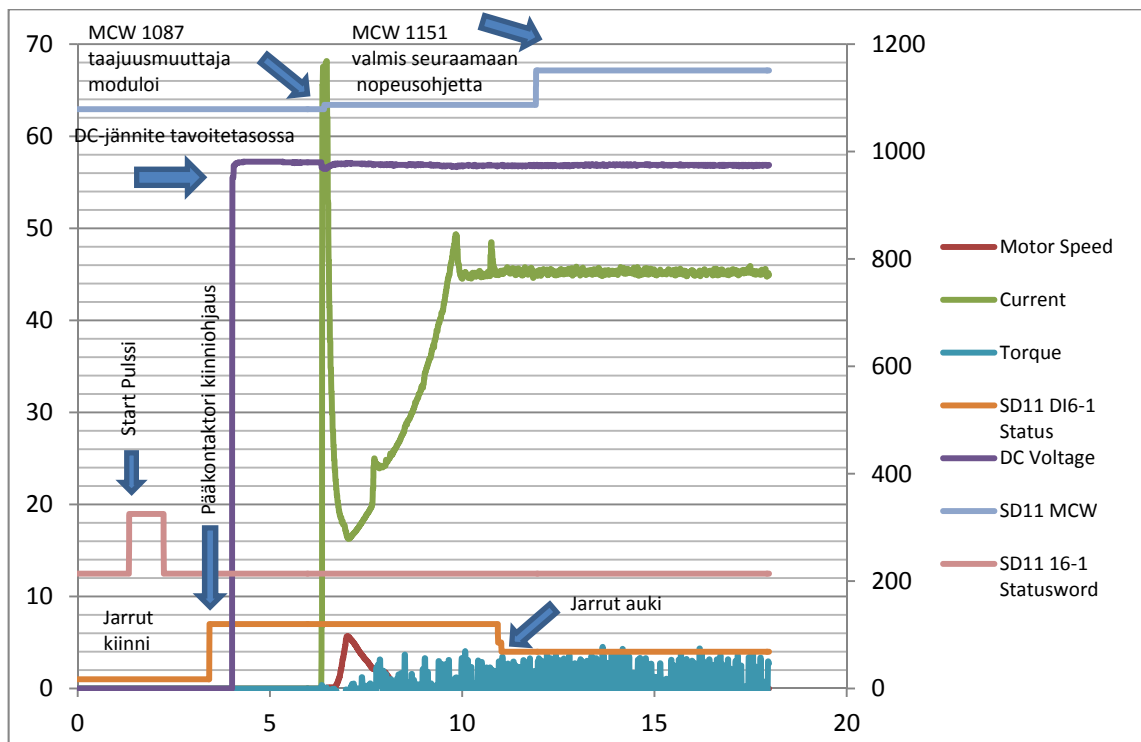
Käyttöönotto aloitetaan taajuusmuuttajien ja moottorien visuaalisella tarkastuksella. Tämän jälkeen moottoreille tehdään eristysvastusmittaus, jotta voidaan olla varma riittävästä eristyksestä maapotentiaalia vasten ja ettei maadoituksia ole kytkettynä vaiheisiin. Kuvassa 25 on esitetty kääntömoottoreiden eristysvastusmittausten tulokset.

SD1.1-M1				SD1.1-M2			
Insulate resistance measurement				Insulate resistance measurement			
Testing voltage	Time	Result	PI	Testing voltage	Time	Result	PI
1000V	15s	1,51 GΩ		1000V	15s	1,50 GΩ	
1000V	60s	1,78 GΩ	1,18	1000V	60s	1,83 GΩ	1,22
SD1.2-M1				SD1.2-M2			
Insulate resistance measurement				Insulate resistance measurement			
Testing voltage	Time	Result	PI	Testing voltage	Time	Result	PI
1000V	15s	1,65 GΩ		1000V	15s	1,54 GΩ	
1000V	60s	2,04 GΩ	1,24	1000V	60s	1,81 GΩ	1,18

Kuva 25. Kääntömoottoreiden eristysvastusmittaus tulokset.

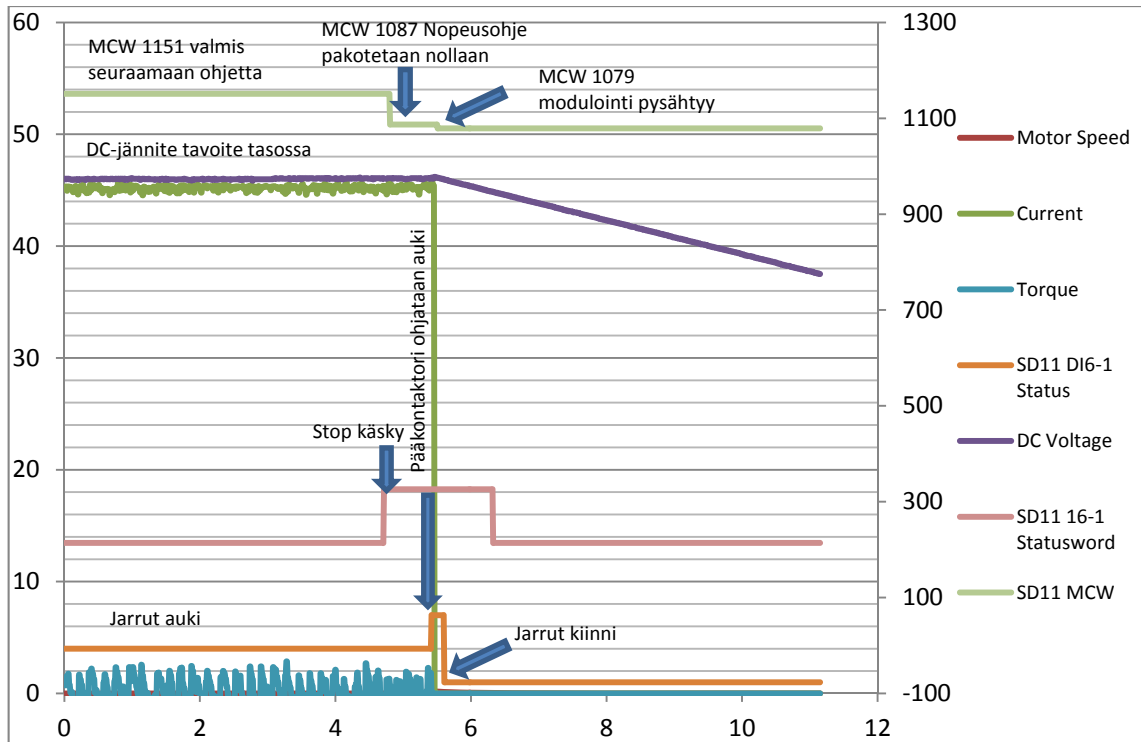
Eristysvastusmittausten jälkeen mitataan vielä taajuusmuuttajan syötönpuoli yleismittarin ohmialueella, jotta voidaan olla varma, ettei vaiheet ole maissa. Taajuusmuuttajan ohjauspaikka vaihdetaan kauko-ohjaukselta paikallisohjaukseen CDP312-paneelin rem/loc -painikkeella. Tämän jälkeen laitetaan taajuusmuuttajan

pääkytkin Q1 kiinni asentoon ja käännetään ovikytkin S11 Start asentoon, jolla ohjataan pääkontaktori K1 kiinni. Taajuusmuuttajaan kytkeytyy 690V syöttöjännite ja välipiirin DC-jännite nousee 931-1000VDC, kun välipiiri on sähköistetty käynnistyy taajuusmuuttajan puhaltimet. Tämän jälkeen annetaan taajuusmuuttajalle käynnistyskäsky CDP312-paneelista, milloin taajuusmuuttaja alkaa moduloimaan nolla nopeusohjeella. Käynnistysen jälkeen taajuusmuuttaja ohjaa pysäköintijarrut auki, jolloin jarrujen tilatieto saadaan takaisinkytkennän kautta taajuusmuuttajan ohjauksortille. Tämän jälkeen taajuusmuuttaja on valmis seuraamaan nopeusohjetta. Kuvassa 26 on havainnollistettu kääntötaajuusmuuttajan käynnistys.



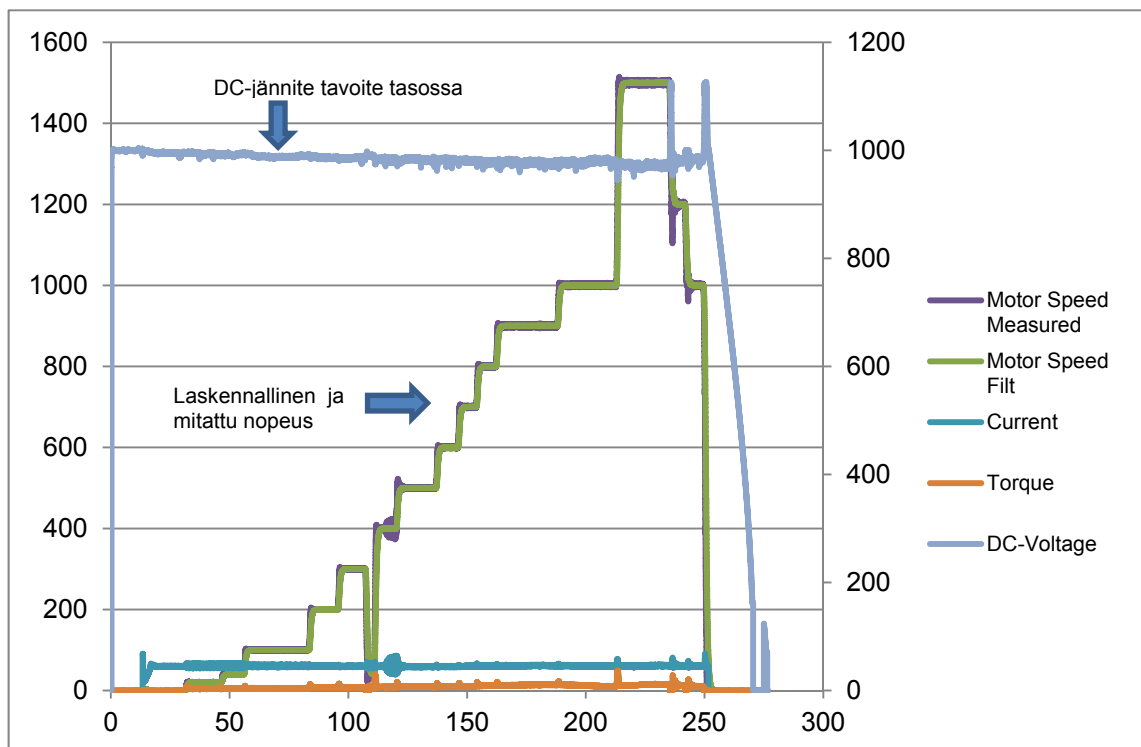
Kuva 26. Kääntötaajuusmuuttajan käynnistys.

Taajuusmuuttaja saadaan pysäytettyä painamalla CDP312-paneelin pysäytyspainiketta. Taajuusmuuttajan vastaanotettua pysäytyskäskyn parametri 7.01 Main Control Word (MCW) saa arvon 1087, milloin nopeusohje pakotetaan nolnaan. Nopeusohjeen saavutettua nollaohjearvon parametri 7.01 MCW saa arvon 1079, jolloin modulointi loppuu ja pääkontaktori ohjataan auki. Tämän jälkeen pysäköintijarrut ohjataan kiinni. Kuvassa 27 on havainnollistettu kääntökäyttötaajuusmuuttajan pysäytys.



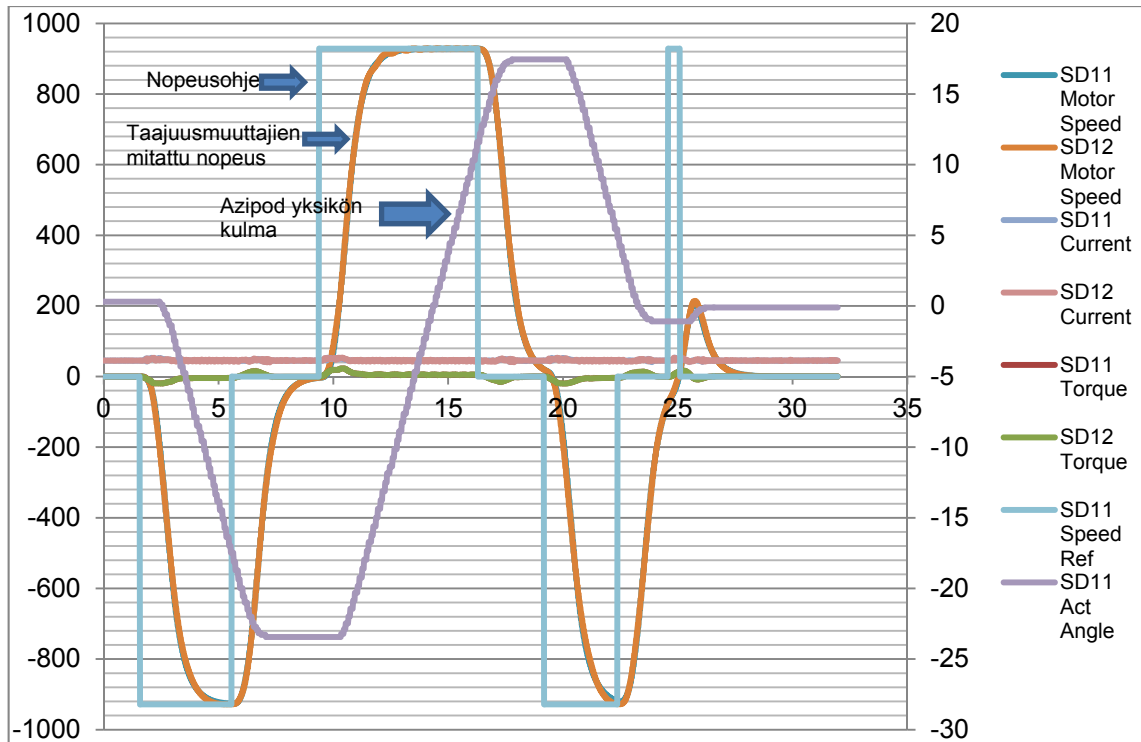
Kuva 27. Kääntötaajuusmuuttajan pysäytys.

Taajuusmuuttajan käynnistys- ja pysäytyskomentojen jälkeen tarkastetaan kaikkien kääntömoottoreiden pyörimissuunnat yksitellen. Tällä tavalla varmistetaan etteivät kääntömoottorit pyöri toisiaan vastaan ajettaessa kahdella taajuusmuuttajalla. Samalla kun moottoria pyöritetään saadaan tarkastettua enkooderin toiminta. Ennen taajuusmuuttajan käynnistystä parametriin 50.03 Speed fb sel arvoksi täytyy vaihtaa internal, jotta taajuusmuuttaja käyttäisi nopeuden takaisinkytkentään laskennallista nopeutta. Laskennallista nopeutta käytetään nopeuden takaisinkytkentään, koska jos enkooderin kytkennät eivät ole oikein ja nopeuden takaisinkytkentään käytetään enkooderia taajuusmuuttaja yrittää ohjata moottoria eri suuntaan kuin enkooderi. Mitatun nopeuden ollessa positiivisella puolella, laskennallisen nopeuden pitää saada myös positiivisiä arvoja. Jos laskennallisessa ja mitatussa nopeudessa on eroja täytyy tarkastaa enkooderin pulssimäärä enkooderista ja varmistaa sama lukema taajuusmuuttajan parametrissa 50.04 Encoder pulse nr. Nopeuden takaisinkytkentöjen tarkastuksen jälkeen voidaan vaihtaa parametrin 50.03 Speed fb sel arvoksi encoder ja käyttää enkooderia nopeuden takaisinkytkentään. Kuvassa 28 on havainnollistettu kääntömoottorin ensimmäinen pyöritys, laskennallisen ja mitatun nopeuden tarkastus.



Kuva 28. Kääntömoottorin ensimmäinen pyörytys, laskennallisen ja mitatun nopeuden tarkastus.

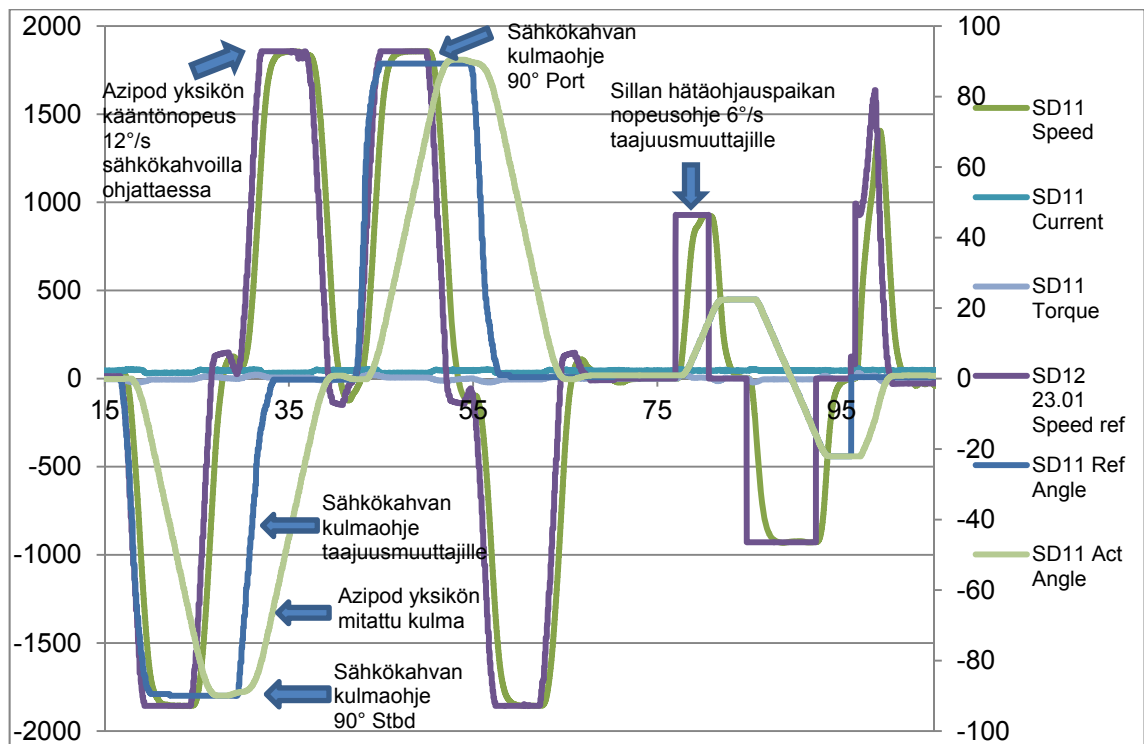
Pyörimissuuntien ja nopeuden takaisinkytkentöjen tarkastusten jälkeen voidaan vaihtaa Azipod-kääntöyksikön kummankin taajuusmuuttajan ohjaus takaisin kauko-ohjaukselle CDP312-paneelin rem/loc -painikkeella ja alkaa testaamaan kääntöyksikköä LBU-ohjauspaikalta. Ensiksi valitaan ohjauspaikaksi LBU painamalla Take over -painiketta ohjauskonsolista. LBU-paneelilta tarkastetaan käynnistys- ja pysäytyskäskyt samalla tavalla kuin ne tehtiin aikaisemmin taajuusmuuttajan CDP312-paneelilta. LBU ohjauspaikalta ohjattaessa taajuusmuuttajat toimivat isäntä/seuraajalogiikalla, jolloin annetaan isäntätaajuusmuuttajalle nopeusohjetta ja seuraaja käyttää isännän momenttiohjetta kuorman jakoon. LBU:n nopeusohje taajuusmuuttajalle on kiinteä 928 rpm, jolla saavutetaan 6° kääntönopeus sekuntissa. Paikallisohtauspaikassa ei voida antaa taajuusmuuttajille kulmaohjetta, vaan kääntöyksikköä ohjataan painamalla kääntöpainikkeita halutun ajan verran, jolloin kääntöyksikkö kääntyy 6°/s. Tarkastuksien jälkeen vapautetaan ohjauspaikka painamalla Take over -painiketta. Kuvassa 29 kääntöyksikköä ohjataan kahdella taajuusmuuttajalla isäntä/seuraaja sovelluksen avulla



Kuva 29. Azipod-kääntöyksikön kääntäminen kahdella taajuusmuuttajalla isäntä/seuraaja sovelluksen avulla.

Ohjaussillan käyttöönottotarkistuksissa on kaksi pääohjauspaikkaa. Hätäohjauspaikka, joka on kytketty kiinteästi taajuusmuuttajan analogiasisääntuloihin ja sillan keskipaneelin sähkökahvat, joiden signaalit menevät profibus-väylän kautta RCU:lle, mistä ne menevät kiinteästi taajuusmuuttajien analogiasisääntuloihin. Kääntötaajuusmuuttajien käynnistys- ja pysäytyspainikkeet on kiinteästi kytketty taajuusmuuttajien digitaaliinsisääntuloihin. Ohjaussillan keskipaneeli valitaan aktiiviseksi ohjauspaikaksi painamalla Take over -painiketta ohjauspaneelissa. Ohjaussillalla tarkistetaan ensin käynnistys- ja pysäytyskomennot, jonka jälkeen annetaan kulmaohjetta taajuusmuuttajille sähkökahvoilla. Sähkökahva käännetään asentoon 90° Stbd, jolloin taajuusmuuttajat kääntävät Azipod-yksikköä 12°/s, kunnes saavutetaan ohjearvo. Tämän jälkeen käännetään sähkökahvaa asentoon 90° Port, jolloin taajuusmuuttajat alkavat kääntää Azipod-yksikköä lyhimmän matkan kautta ohjearvoonsa. Kun sähkökahvojen toiminta on todettu oikeaksi voidaan siirtyä hätäohjauspaikan tarkastukseen. Hätäohjauspaikka valitaan aktiiviseksi ohjauspaikaksi painamalla Steering WH backup -painiketta, jolloin sillan keskipaneeli luovuttaa ohjauksen hätäohjauspaikkaan. Hätäohjauspaikan ohjausvälineenä toimii vipu, jota voi kääntää kahteen suuntaan. Kääntämällä vipua oikealle Azipod-yksikkö kääntyy 6°/s Port-puolelle niin kauan kuin vipua pidetään käännettynä ja kun vipua käännetään

vasemmalle Azipod-yksikkö kääntyy  $6^\circ/\text{s}$  Stbd-puolelle. Tämän jälkeen vapautetaan ohjauspaikka takaisin sähkökahvoille painamalla Steering WH backup -painiketta. Sillan keskikonsolin sähkökahvojen ohjauspaikka on monistettu ohjausillan molemmille laidoille, jolloin operaattori pystyy näkemään laivan kyljen samalla kun käyttää siipiohjauspaikkoja. Siipiohjauspaikan aktivoimiseksi täytyy ohjaustavan olla sähkökahvoilla ja kyseisellä ohjauspaikalla pitää painaa Take over -painiketta, jolloin RCU vaihtaa ohjauspaikaksi kyseisen siipiohjauspaikan. Muut sillan sähkökahvat seuraavat aktiivisen ohjauspaikan kulmaa ja propulsioon momenttiohjetta. Kuvassa 30 on havainnollistettu hätäohjauspaikkojen ja sähkökahvojen kääntönopeudet.



Kuva 30. Sillan hätäohjauspaikan ja sähkökahvojen kääntönopeudet.

### 5.3 Multidrive-taajuusmuuttajat

Multidrive-taajuusmuuttajat koostuvat industrial drive -moduuleista, jotka on kytketty yhteiseen tasajännitepiiriin. Syöttöyksikkö syöttää yhteiseen tasajännitepiiriin tasajännitettä, josta tasajännite syötetään vaihtosuuntaajamoduuleihin. Vaihtosuuntaajamoduulit syöttävät sähköisen tehon moottoreille. Multidrive-nimitys tulee siitä, että yhdellä taajuusmuuttajalla ajetaan useampaa moottoria.

Multidrive-taajuusmuuttajan hyödyt ovat:

- Yhteinen DC-jännite piiri eri invertteriyksiköiden välillä
- Yhteinen jarrukatkoja piiri eri invertteriyksiköiden välillä
- Redundanttisuus. Kuormaa voidaan ajaa osittaisella kuormalla, vaikka yksi vaihtosuuntaaja hajoaisi.

Laivassa on kaksi multidrive-taajuusmuuttajaa FC1 ja FC2. Multidrive-taajuusmuuttaja sisältää syöttöyksiköt, invertteriyksikön propulsiolle, invertteriyksikön keulaohjauspotkurille, vesijäähdytysyksikön, ohjausyksikön ja moottorilähtöyksiköt. FC1 ja FC2 multidrive-taajuusmuuttajat ovat toistensa peilikuvia kaappikokoonpanon kannalta.

### 5.3.1 Multidrive-taajuusmuuttajien asennustarkastukset

Taajuusmuuttaja toimitettiin kohteeseensa kolmessa kuljetuspituusosassa, jonka jälkeen kuljetuspituudet yhdistetään toisiinsa asennuspaikalla. Kuljetuspituuksien yhteen liittämisen jälkeen DC-välipiirin kiskot yhdistetään eri kuljetuspituuksien välillä, sisäiset johdotukset kytketään riviliittimille, optiset kuidut liitetään optiselle haaroittimelle ja päävesilinjat liitetään toisiinsa axilock-liittimillä.

Asennustarkastuksessa tuli esille, että kahden eri multidrive-taajuusmuuttajan keskiosat ovat menneet keskenään ristiin. Keskiosien ristiin asennus tarkoittaa, että keskiosien johdotuksia ei saada kytkettyä oikeille riviliittimille, optisia kuituja ei voi kytkeä optiselle haaroittimelle ja päävesilinjan putket eivät ole linjassa. Tässä vaiheessa laivan rakennusta kuljetuspituuksien keskiosien vaihto ei tule kysymykseen. Tästä johtuen multidrive-taajuusmuuttajiin täytyy tehdä sisäisiä johdotusmuutoksia, uusia tarvittavat optiset kaapelit sekä linjata päävesiputket.

## 5.4 Multidrive-taajuusmuuttajien käyttöönottotarkastukset

Multidrive-taajuusmuuttajat saavat 230V apujännitteen UPS:lta, joten voimme tarkastaa kaikki apujännitteillä toimivat kohteet ennen kuin pääjännitteet kytkeytyvät. Multidrive-taajuusmuuttajien käyttöönotossa kiinnitetään huomiota seuraaviin kohtiin:

- DSU-syöttöyksiköt
- LCU-vesilaitos
- INU-invertteriyksiköt.

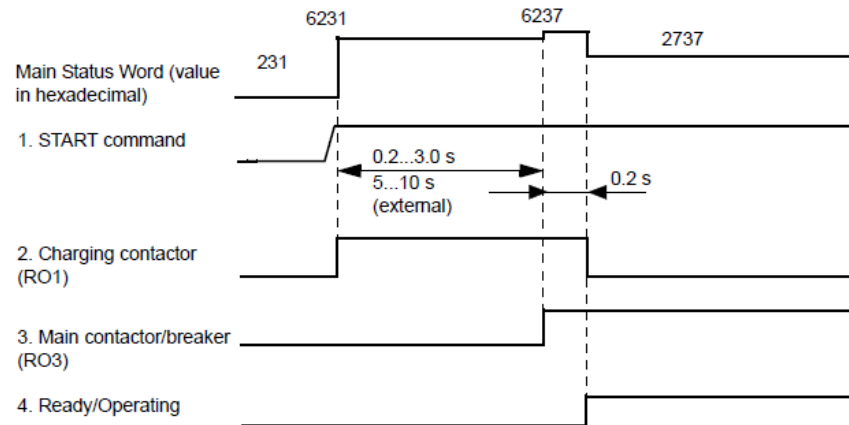
### 5.4.1 DSU-syöttöyksikön käyttöönottotarkastukset

Syöttöyksikön tarkastuksessa tarkastetaan ensiksi maadoituserottimien toiminta, jotta saamme maadoitukset pois päältä. Maadoituserottimien tilatieto on myös päätaulun PTR -katkaisijoiden lukitus tietona, mikä tarkoittaa että katkaisijaa ei voi ohjata kiinni, kun maadoituserottimet ovat kiinni. Tämän jälkeen tarkastetaan, ettei syöttö- tai DC-piiri ole oikosulussa tai maissa. Propulsiomuuntajien toisiolta lähtevät syöttökaapeleille on tehty eristysvastusmittaus ja ylijännitetesti, jonka takia voimme olla varmoja ettei syöttöpuolen kaapelit ole maissa. Yleismittarilla voimme mitata DC-kiskoista ettei piirissä ole suoraa maasulkua ja sen että piirissä on kuormaa.

Seuraavaksi testataan latauspiirin toiminta, latauspiirille tulee oma 690V jännite MSB-jakotaululta. Syöttöyksikön kaapissa +01.1 on latauspiirille oma erotin Q30, jonka päälle laittamalla saadaan latauspiiri valmiiksi odottamaan katkaisijan kiinni komentoa. Kaapin +01.1 ovesa on ovikytkin S11, jolla katkaisijaa voidaan ohjata paikallisesti. Kääntämällä S11 kytkintä Start-tilaan DSU:n RMIO-kortin DI2 (Digital input 2) aktivoituu ja RMIO-kortin relelähtö RO1 vetää, joka taas vetää latauskontaktorin K2. Latauskontaktori yhdistää ulkoisen 690VAC latausjännitteen latausvastusten ja tasasuuntauksen kautta DC-välipiirin kondensaattoreille. DC-jännite nousee ja kun se on tarpeeksi korkea DSU:n ohjauskortin relelähtö RO3 vetää, joka antaa kiinni käskyn PTR:n katkaisijalle ja samalla avaa ohjauskortin relelähdön RO1, joka ohjaa latauskontaktorin K2 auki. Kuvassa 31 havainnollistetaan DSU:n latauksen toiminta.

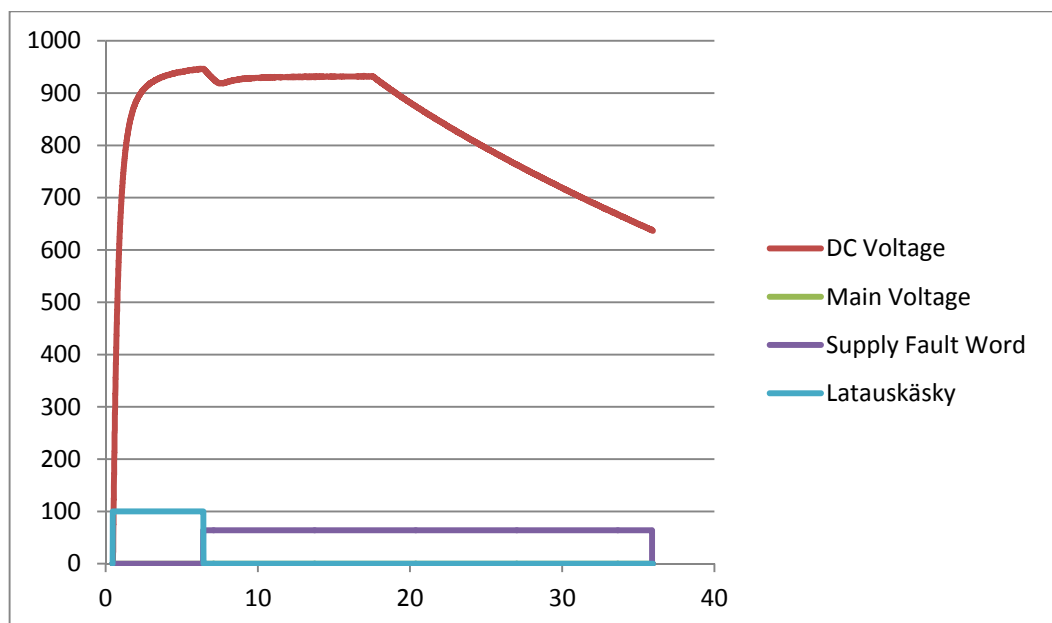
[15]





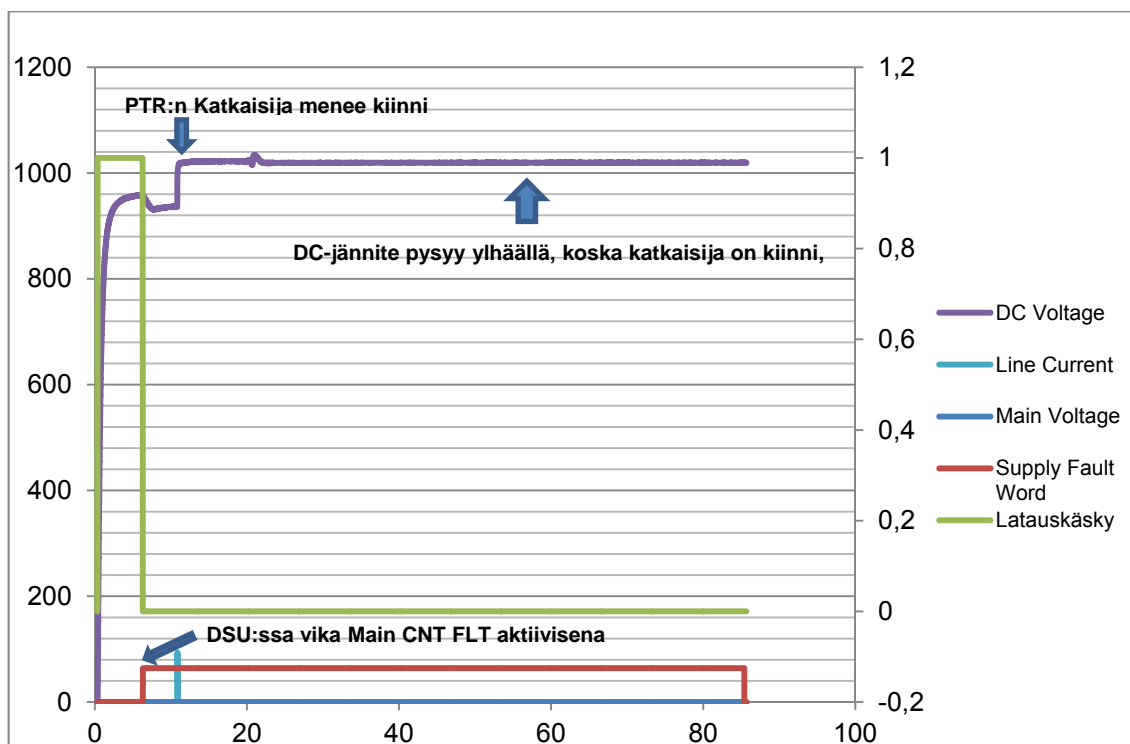
Kuva 31. DSU:n latauksen toimintakaavio. [15]

Latauspiiri lataa DC-jännitteen latauspiiriin kautta noin 940VDC jännitteeseen, minkä jälkeen kestää 6,4 sekuntia ja DSU vikaantuu MAIN CNT FLT (FF17) vikaan. Tämä vika johtuu siitä, että katkaisija ei mene kiinni tietyn ajan kuluessa. Tämä testi kuitenkin todistaa, että latauspiiri toimii. Kuva 32 havainnollistaa DC-jännitepiiriin lataamisen ja vikaantumisen MAIN CNT FAULT vikaan.



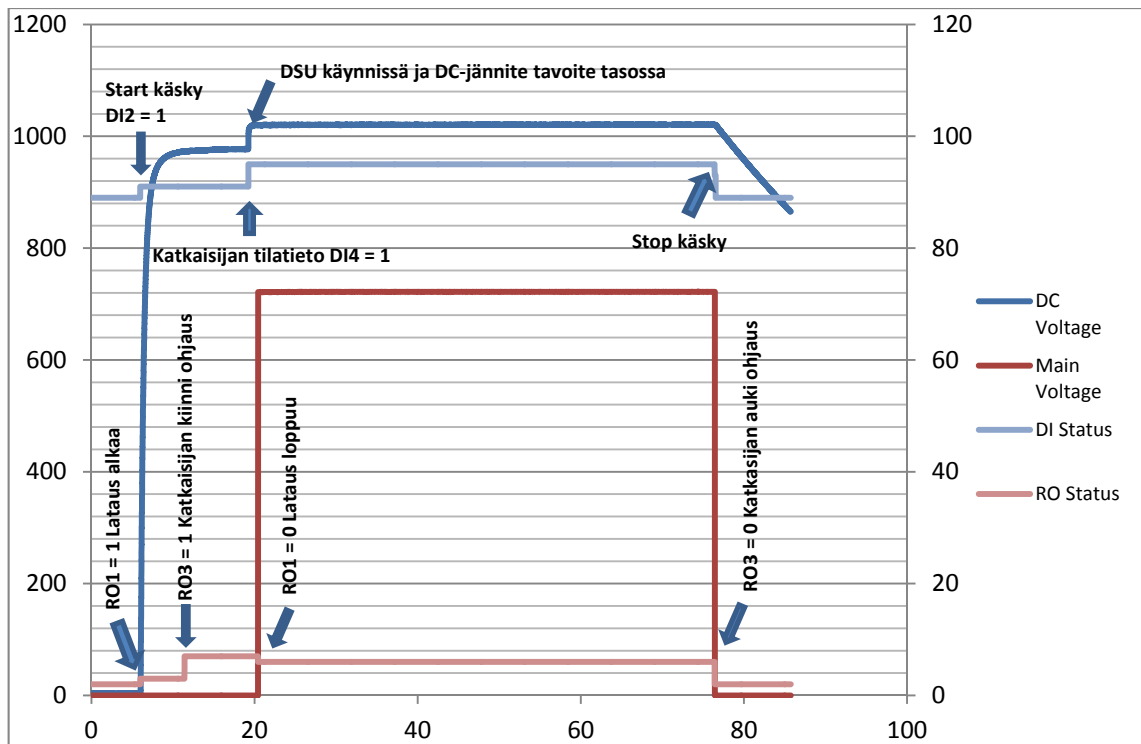
Kuva 32. DC-jännitepiiriin lataus ja vikaantuminen MAIN CNT FAULT vikaan.

DSU:n parametroinnissa vaihdettiin vain kommunikointiparametrit vastaamaan järjestelmää, koska yleensä muita parametrejä DSU:ssa ei tarvitse vaihtaa, kun ne on asetettu tehtaalla jo valmiiksi. Laivan generaattorien ja korkeajännitepäätaulukatkaisijoiden testaamisen jälkeen, pystyimme käynnistämään propulsiomuuntajat ensimmäisen kerran. Multidriven syöttöyksikön käynnistys tehtiin ECR:stä ylemmän ohjausjärjestelmän kautta, jolloin pystyimme seuraamaan automaatiosta propulsiomuuntajan, propulsiomuuntajankatkaisijan ja multidrive-taajuusmuuttajan tilaa käynnistyksessä. Testin aikana huomattiin, että DSU ehtii vikaantua ennen kuin katkaisija ohjautuu kiinni, kuten voimme todeta kuvassa 33.



Kuva 33. Syöttöyksikön ensikäynnistys ja Main CNT FLT vika.

Vikaa tutkittaessa huomattiin, että katkaisijan kiinniohjautumiseen kuluva aika on suurempi kuin normaalisti. DSU saa katkaisijan kiinni-tilatiedon RMIO:n DI4:ään (Digital Input 4), tämä katkaisijan kiinni-tilatiedon saapuminen RMIO:lle kestää yli 8 sekuntia, josta johtuu MAIN CNT FLT vika. DSU:n parametreistä löytyy parametri, jolla voimme nostaa katkaisijan kiinni -ohjauksen vikaviivettä 211.03 MCB TRIP DELAY tämän parametrin arvo muutettiin viidestä sekuntista kymmeneen sekuntiin. Tämän jälkeen testasimme DSU:n käynnistystä uudelleen. Tämän muutoksen jälkeen DSU ja katkaisijan ohjaus toimi, kuten voidaan todeta kuvassa 34.



Kuva 34. DSU:n käynnistys ja katkaisijan ohjausparametrimuutoksen jälkeen.

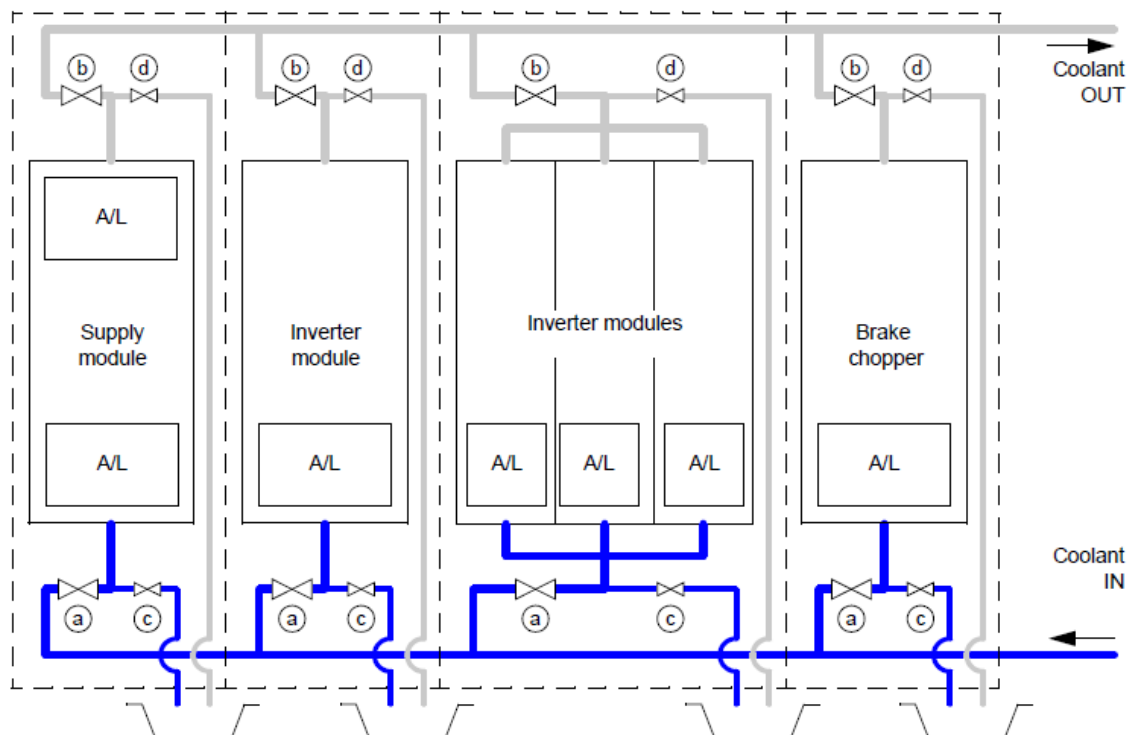
#### 5.4.2 LCU-vesilaitoksen käyttöönottotarkastukset

Vesilaitoksen perusidea on siirtää häviöteho sisäisestä vedenkierrosta ulkoiseen. Lisäksi se huolehtii riittävästä massavirrasta jäähdytettävien laitteiden läpi. Käytännössä vesilaitoksen pumppu nostaa vähintään minimipaineen (1,5 bar) päävesiputkistoon, jolloin jäähdytettävien laitteiden massavirtaus on riittävä. Lähes aina pumput nostavat korkeamman paineen, mutta ei yli maksimi absoluuttipaineen (7bar). [16]

Vesilaitos sisältää lämmönvaihtimen, joka siirtää tehon eri vesikiertojen välillä. Lisäksi yksikössä on paisuntasäiliö, joka tasoittaa paineen. Paisuntasäiliö on jaettu kahteen osaan nesteosaan ja ilmaosaan. Ilmaosa on varastona nesteosalle, jos ja kun nesteosan tilavuus kasvaa lämpötilan noustessa järjestelmässä. Eli paisuntasäiliö tasaa paineen vaihtelut järjestelmässä, mitkä johtuvat lämpötilanvaihtelusta. [16;17]

Vesilaitoksen käyttöönotossa ensimmäisenä tarkastetaan paisuntasäiliön vastapaine. Vastapaine tarkastetaan avaamalla pohjassa oleva venttiilin hattu ja mitataan säiliössä oleva paine painemittarilla, vastapaineen tulee olla 0,4 bar. Mikäli vastapaine on alle

0,4 bar, täytyy vastapainetta lisätä, jotta paisuntasäiliö pystyy vastaamaan nesteen lämpötilojen vaihteluihin ja tasoittamaan järjestelmän painetta. Painetta saadaan nostettua polkupyörän pumpulla, jolla voidaan pumpata ilmaa paisuntasäiliöön. Tämän jälkeen voimme tarkistaa paineen uudestaan ja säätää sitä tarvittaessa. Kuvassa 35 havainnollistetaan sisäinen vedenkierto.



A/L = Air to liquid heat exchanger

Kuva 35. Sisäisen vedenkierron kuvaus. Sisääntuloventtiili (a), ulostuloventtiili (b), tyhjennysventtiili (c) ja ilmausventtiili (d).[17]

Seuraavana vaiheena on vesilaitoksen täyttäminen tislattulla vedellä, mikä tehdään porakonepumpulla. Porakonepumpun putken toinen pää laitetaan säiliöön missä on tislattua vettä ja toinen pää kytketään vesilaitoksen venttiiliin V310. Vesilaitoksen pumppujen sisään on tehtaalla laitettu inhibiittoriainetta, joka pääsee sisäisen vedenkiertoon, kun pumppujen venttiilit avataan ja vesilaitosta aletaan täyttämään. Tislattua vettä aletaan pumppaamaan vesilaitokseen ja PIA-204 anturin paine nostetaan 2 bar paineeseen. Tämän jälkeen annetaan porakonepumpun vielä pumpata vettä vesilaitokseen, suljetaan kaikista muista kaapeista ulostuloventtiili (b), paitsi viimeisestä kaapista ja avataan viimeisestä kaapista ilmausventtiili (d). Ilmausventtiiliin annetaan olla auki kunnes vettä alkaa tulemaan ilmausventtiilin putken päästä ja suurin osa ilmasta on saatu pois kyseisestä kaapista. Tämän jälkeen ilmausventtiili (d),

ulostulonventtiili (b) ja sisääntuloventtiili (a) suljetaan viimeisestä kaapista. Tällä samalla tavalla jatketaan kauimmaisesta päästä vesilaitokselle asti ja kun vesilaitoksen pumput ja ilmausputket on saatu tyhjennettyä ilmasta suljetaan venttiili V310 ja lopetetaan veden pumppaaminen vesilaitokseen. Tämän jälkeen avataan kaikki sisääntulo- ja ulostuloventtiilit kaapeista. Vesilaitoksen paine pitää vielä nostaa 2 bar paineeseen pumppaamalla porakonepumpulla vettä vesilaitokseen ja avaamalla venttiili V310 paineennoston ajaksi. Tämän jälkeen vesilaitos on täytetty ja ilmattu.

Viimeinen vaihe vesilaitoksen tarkastuksessa on nostaa vesilaitoksen paine käyttöpaineeseen ja tarkastaa ettei paineistettuna ole vuotoja ja ettei ilmaa ole jäänyt putkistoihin. Syöttöyksikön kaapissa +01.1 on erotin Q31, jonka kautta vesilaitoksen pumppujen kontaktorit saavat 690V jännitteen. Pumppujen kontaktoreita ohjataan vesilaitoksen RMIO-kortin relelähtöjen avulla. Relelähtö 1 RO1 ohjaa pumppu 1 kontaktorin kiinni ja relelähtö 2 RO2 ohjaa pumppu 2 kontaktorin kiinni. Yleensä vesilaitos käynnistetään ylemmän järjestelmän kautta kirjoittamalla Main Control Word (MCW) arvon 3. Huoltotoimenpiteenä tehtävä pumppujen käynnistys tehdään asettamalla LCU:n parametri 33.01 CONTROL TYPE arvoon SERVICE CTRL ja vaihtamalla vesilaitoksen ohjauksen paikallisohjaukseen. Samalla kun vesilaitoksen pumppu käynnistetään tarkastetaan myös pumpun pyörimissuunta, mikä voidaan tarkastaa moottorin puhaltimen pyörimissuunnasta. Pumppu käynnistetään painamalla CDP312-paneelin käynnistyspainiketta. Vesilaitoksen paine nousee pumpun käynnistämisen jälkeen 4,5 bar paineeseen, kun vesilaitos on paineistettu tarkastetaan mahdolliset vuotokohdat multidrive-taajuusmuuttajasta. Vesilaitoksen pumpun annettiin olla käynnissä 20 minuuttia ja tarkastettiin, ettei vuotokohtia ole ja putket eivät humise, mikä johtuisi ilmakuplista putkistossa. Tämän jälkeen tarkastetaan että pumpun vaihto toimii, mikä voidaan tehdä avaamalla moottorinsuojakytkin F1, kun moottorinsuoja kytkin on auki käynnistyy pumppu 2 automaattisesti. Tämän jälkeen vesilaitos pysäytetään painamalla CDP312-paneelin pysäytyspainiketta, vaihdetaan vesilaitoksen ohjaus takaisin kauko-ohjaukselle ja parametri 33.01 CONTROL TYPE takaisin arvoon REMOTE CTRL. LCU:n parametreista tarkastetaan vesilaitoksen hälytys- ja vikarajat, mitkä on asetettu tehtaalla valmiiksi. Tämän lisäksi parametreista pitää vaihtaa käynnistys- ja kommunikointiasetukset vastaamaan kyseistä järjestelmää.

### 5.4.3 Propulsioinvertterien käyttöönottotarkastukset

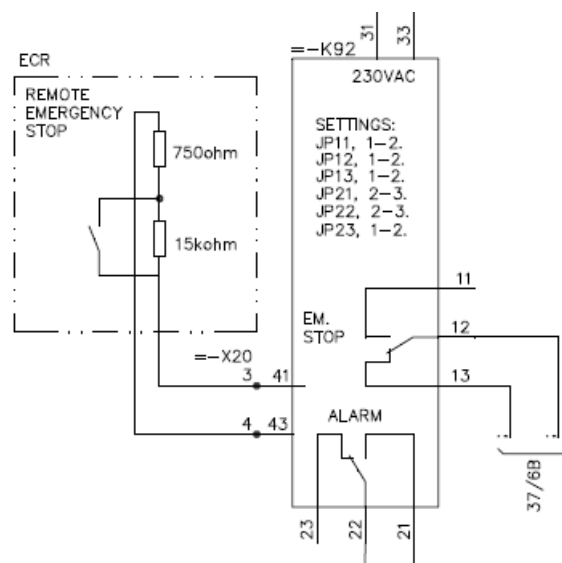
Propulsioinvertterien käyttöönottotarkastuksessa ei tarvitse erikseen mitata onko välipiiri maissa, koska tämä on tehty DSU:n tarkastuksessa. Azipod-yksikön propulsiossa on 10 invertteriyksikköä rinnankytkettynä, joihin tehdään visuaalinen tarkistus ettei mitään ole päässyt tippumaan invertteriyksikköihin. Tämän jälkeen tarkastetaan, että jokaiselta invertteriyksiköltä tulee valokuidut ABDU-44C valokuitujakajaan ja ABDU-44C on kytkettynä valokuidulla RMIO:n CH0 kanavaan. Tämän jälkeen ABDU-44C valokuitujakajassa täytyy muuttaa dippikytkimen asentoa, jotta ABDU-44C patteri olisi käytössä.

Tämän jälkeen voidaan kytkeytyä PC:llä RMIO:n CH3 kanavaan, joka on tarkoitettu tietokoneyhteydelle. Yhteyden tarkastamisen jälkeen tarkastatetaan taajuusmuuttajan kestomagneettiohjelman versio ANXR7280 parametrinä 4.01 SW PACKAGE VER. Kestomagneettiohjelmasta on ilmestynyt uusi versio ANXR7300, joka ladataan taajuusmuuttajalle. Ohjelmiston lataamisen jälkeen taajuusmuuttajan ohjauspaneeli ilmoittaa viasta No Communication, mikä kertoo kommunikaatio viasta RMIO:n ja CDP312-paneelin välillä. Tämä vika saadaan korjattua kytkemällä taajuusmuuttajan ohjelmistokortin RMIO:n apujännitteet pois päältä muutamaksi sekuntiksi ja sen jälkeen kytketään apujännitteet takasin päälle, jolloin No Communication vika saadaan pois päältä. Ohjelmiston lataamisen jälkeen aloitetaan taajuusmuuttajan parametointi, parametrien muuttamiseen tietokoneella voidaan käyttää DriveWindow- tai DriveDebug -ohjelmaa. Ensimmäiseksi vaihdetaan moottoriparametrit vastaamaan moottorin kilpiarvoja. Tämän jälkeen asetetaan käynnistys-, pysäytys-, lisäoptio- ja kommunikointiparametrit vastaamaan järjestelmää. Tässä järjestelmässä käytetään ylempää ohjausjärjestelmää ohjaamaan taajuusmuuttajan käynnistystä, pysäytystä ja momenttiohjetta. Tämän lisäksi asetetaan käynnistysenesto ja digitaalisten ulostulojen parametrit vastaamaan sähköpiirrustuksia.

Taajuusmuuttajan optiomoduulilla RDIO-01 ohjataan Azipod-yksikön 3-vaihekatkaisijan kiinni- ja auki- komentoja, koska normaali parametreillä emme saaneet katkaisijan ohjausta toimimaan halutulla tavalla, jouduimme käyttämään adaptiivista ohjelmointia taajuusmuuttajan ohjelman sisällä. Adaptiivista ohjelmointia voidaan tehdä Drive AP2 -ohjelmalla tai suoraan parametreistä käyttämällä pointtereita ja constant-arvoja. Adaptiivisella ohjelmoinnilla tehtiin ohjelma, joka toimii seuraavasti. Kun hätäseis ei ole aktiivinen ja parametrin 8.01 Main Status Word bit 3 (Vika) ei ole aktiivisena annetaan

katkaisijalle kiinnikomento. Tätä kiinnikomentoa jouduttiin myöhästyttämään vetohidastuksella, koska muuten ohjelmakierrot menivät päällekkäin ja vian sattuessa reset-painiketta piti painaa kaksi kertaa. Lisäksi adaptiivisessa ohjelmassa on lisätty event lohko, joka ilmoittaa CDP312-paneelilla AZI1 BC, jos hätäseis tai taajuusmuuttajan vika on aktiivisena ja Azipod-katkaisija on auki. Propulsioinvertterin adaptiivinen ohjelma liitteessä 1. [Liite 1]

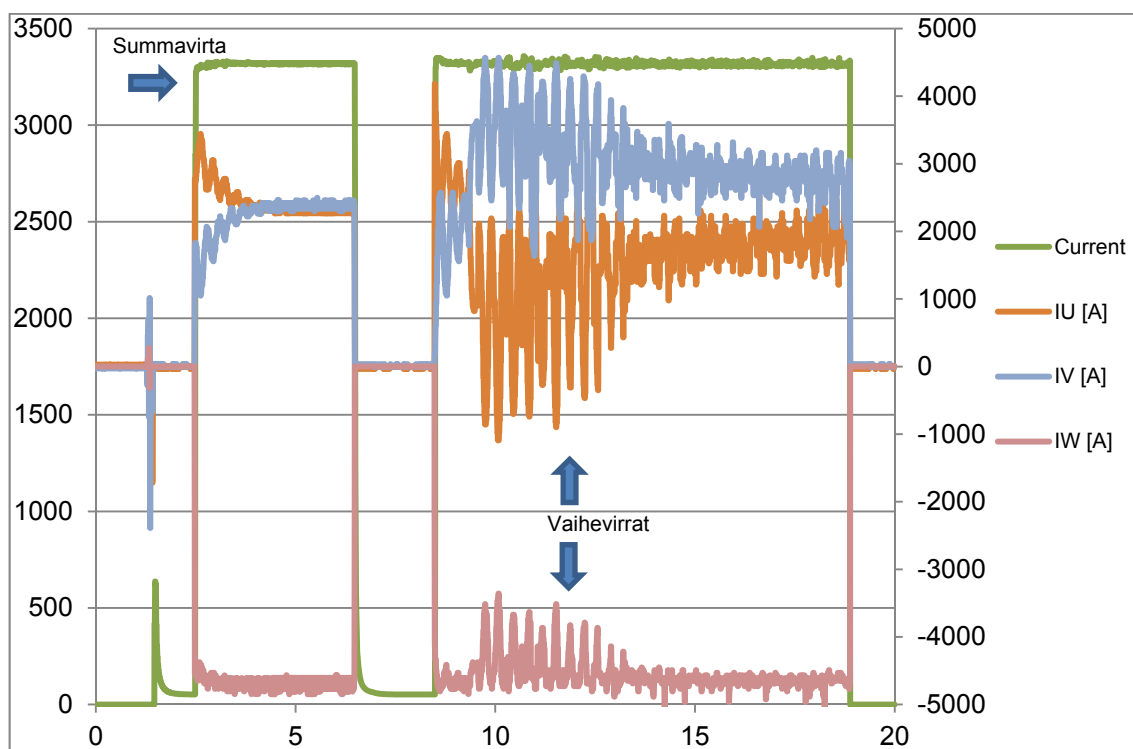
Hätäseispiirin tarkastuksessa tarkastamme, että kaikki hätäseis-painikkeet toimivat ja antavat PTR:n katkaisijalle avauskomennon. Hätäseispiiri ei ole aktiivisena kun piirissä on 230V jännite ja kun jännite tippuu hätäseis vaihtaa tilansa aktiiviseksi. Propulsioilla on hätäseis-painikkeita ECR:ssä, LBU:lla, ohjaussillalla ja kummallakin siipiohjauspaikalla. Multidrive-taajuusmuuttajan syöttöyksikön hätäseis on kytketty samaan hätäseis-piiriin, mikä katkaisee samalla keulaohjauspotkurin syötön, kun painetaan propulsioin hätäseis-painiketta. Kuvassa 36 on kuvattu hätäseis-releen kytkentäkaavio.



Kuva 36. Hätäseis-releen kytkentäkaavio

Hätäseis-releillä on myös johdonkatkaisuhälytys, mikä ilmoittaa automaatioon, jos jonkun ohjauspaikan hätäseis-painikkeen vastuksen arvo kasvaa yli 15,75 K $\Omega$  on johdin katkennut. Johdonkatkaisutoiminto saadaan testattua irrottamalla johdin hätäseis-releen terminaalilta 41 tai 43, joka indikoi vian releelle ja automaatiolle. Tarkastaessa sähköpiirustuksista releen numeron voidaan todeta, missä johdin on katkennut.

Edellä olevien tarkastuksien jälkeen voidaan jatkaa käyttöönottoa tekemällä propulsiomoottorille ID-magnetointi ja supistettu ID-ajo. ID-ajossa mitataan seuraavia suureita; staattorin vastus, keskinäisinduktanssi, kyllästymisvakiot ja moottorin hitausmomentti. Näitten suureiden avulla lasketaan adaptiivinen moottorimalli, joka laskee moottorin todellisen momentin, staattorin vuon ja akselin nopeuden. ID-magnetoinnissa moottorimalli lasketaan magnetoimalla moottori 20 - 60 sekunnin ajaksi nollosnopeudella ja kalibroidaan virtamuuntimet. Syöttöyksikölle annetaan käynnistyskäsky, joka lataa välipiirin ja tämän jälkeen ohjaa PTR:n katkaisijan kiinni. Välipiirin ylösnostamisen jälkeen tarkistetaan, että Azipod-yksikön syöttökatkaisija on vetäneenä ja ettei taajuusmuuttajassa ole aktiivisia vikoja. Taajuusmuuttajan CDP312-ohjauspaneelista vaihdetaan ohjaustapa paikallisohjaukselle ja painetaan käynnistyspainiketta, jolloin taajuusmuuttaja alkaa moduloida ja moottori magnetoidaan. Kuvassa 37 havainnollistetaan moottorin ID-magnetointi. [18]

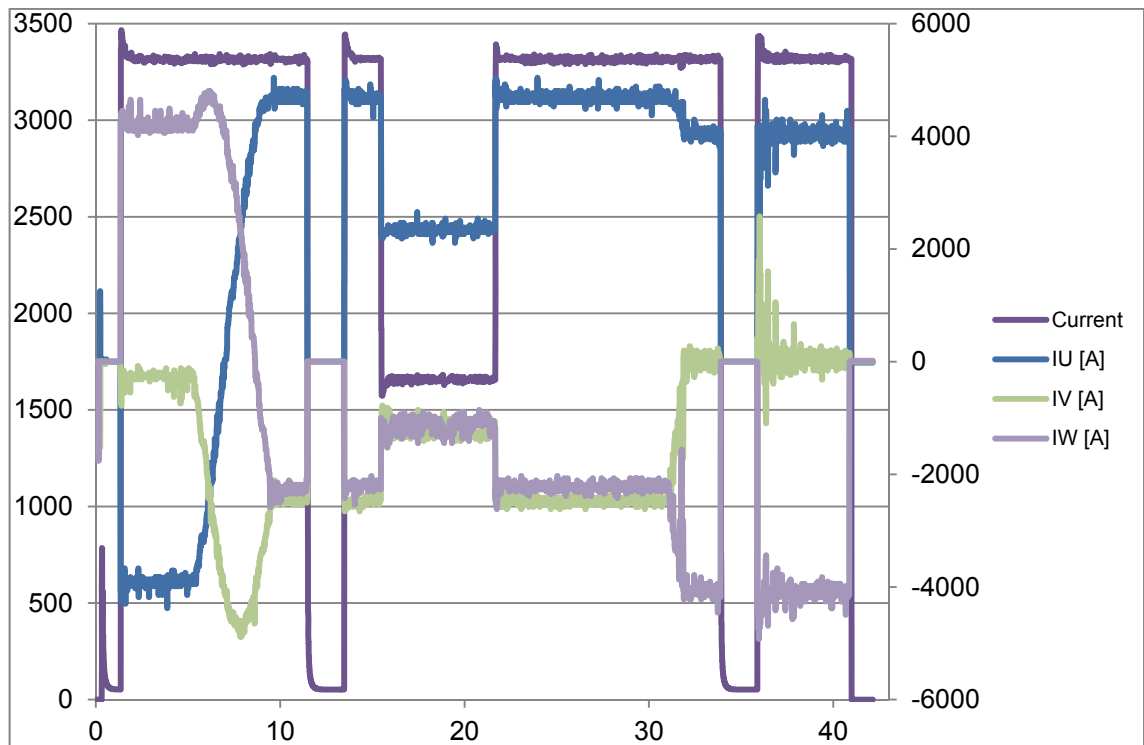


Kuva 37. Moottorin ID-magnetointi.

ID-magnetoinnin jälkeen suoritetaan moottorille supistettu ID-ajo. Supistetussa ID-ajossa lasketaan moottorimallisuureet eri jännitteillä, jolloin saadaan luotua tarkempi moottorimalli. Tämä tehdään muuttamalla parametrin 99.07 Motor ID Run arvoksi Reduced ja painamalla käynnistyspainiketta CDP312-ohjauspaneelissa, jolloin



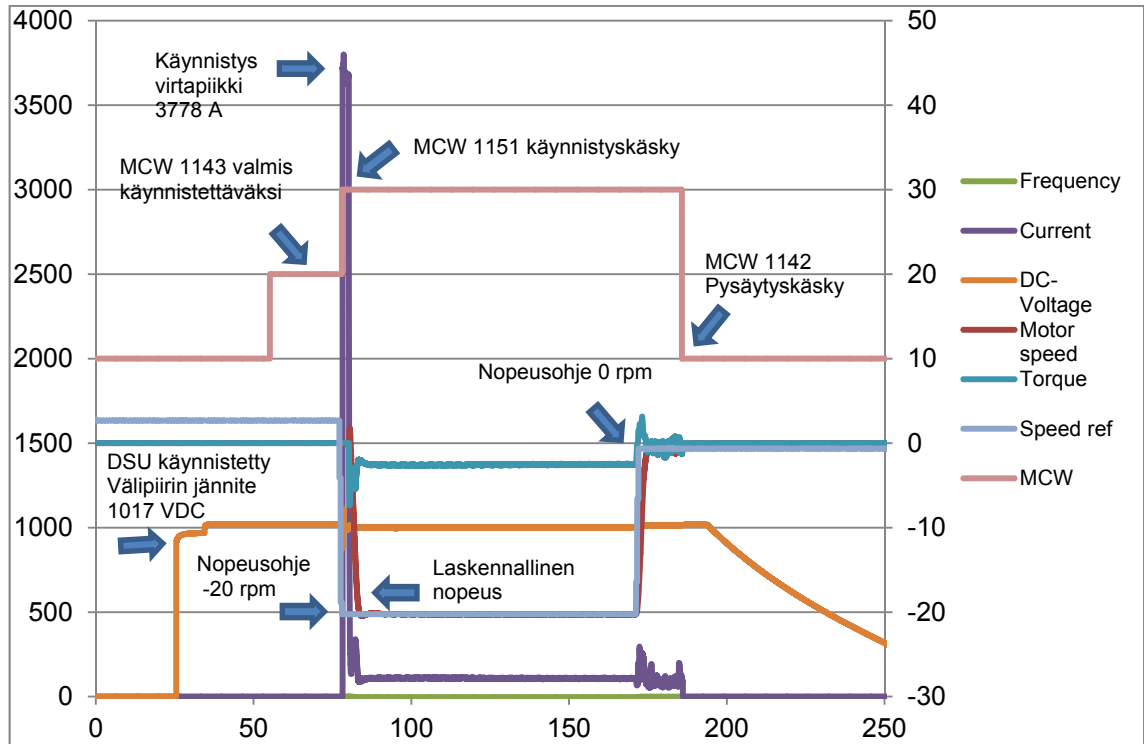
moottorin ID-ajo alkaa. Kestomagneettiohjelmassa supistettu ID-ajo ei pyöritä moottoria, kuten standardiohjelmassa. Tarkalla moottorimallilla saadaan verrattua momentin ja vuon ohjearvoja 25 mikrosekunnin välein, jolloin moottorin säädön tarkkuutta pystytään parantamaan huomattavasti alhaisilla moottorin pyörintänopeuksilla. Kuvassa 38 on havainnollistettu supistettu ID-ajo. [18]



Kuva 38. Tarkemman moottorimallin luominen supistetulla ID-ajolla.

Moottorimallin luomisen jälkeen tarkastatetaan, että taajuusmuuttaja seuraa käynnistys-, pysäytys- ja ohjearvokomentoja. Taajuusmuuttajan käynnistys, pysäytys ja ohjearvo annetaan tietokoneen drive debug -ohjelmalla, jotta niitä voidaan kontrolloida erillään muista laivan ohjausjärjestelmistä. Taajuusmuuttajan syöttöyksikölle annetaan käynnistyskäsky, jonka jälkeen DC-välipiirin jännite nousee 1017 VDC jännitteeseen ja pääohjaussanan MCW arvo vaihtuu 1142:sta 1143:een. Taajuusmuuttajan nopeusohjeeksi annetaan -20 rpm ja annetaan käynnistyskäsky, jolloin pääohjaussanan arvoksi vaihtuu 1151 ja taajuusmuuttaja alkaa moduloida. Käynnistyksessä moottorin virtapiikin arvo nousee 3778 ampeeriin, mistä virta laskee 100 ampeerin tyhjäkäyntikulutukseen. Taajuusmuuttaja seuraa sille asetettua nopeusohjetta -20 rpm, jonka jälkeen nopeusohjeen arvoksi asetetaan 0 rpm ja taajuusmuuttaja ohjaa moottorin akselin nopeuden nolnaan. Moottorin nopeuden

ollessa 0 rpm taajuusmuuttajalle annetaan pysäytyskäsky tietokoneelta, jolloin pääohjaussanan MCW arvoksi vaihtuu 1142 ja modulointi loppuu. Moduloinnin loputtua annetaan syöttöyksikölle pysäytys käsky, jolloin PTR:n katkaisija avautuu ja välipiirin DC-jännite alkaa laskemaan. Kuvassa 39 voidaan nähdä taajuusmuuttajan käynnistys-, pysäytys- ja nopeusohjeen toiminta.



Kuva 39. Propulsiotaajuusmuuttajan käynnistys-, pysäytys- ja nopeusohje.

Tietokoneohjauksella suoritettujen käynnistys-, pysäytys- ja nopeusohjekomentojen tarkastuksen jälkeen, voidaan tarkastaa nämä samat komennot kaikilla ohjauspaikoilla, kuten LBU:n paikallisohjauspaneelilta, ECR:n ohjauspaneelilta ja ohjauksillaan kaikilta ohjauspaikoilta. Näiden perustarkastuksien jälkeen propulsiotaajuusmuuttajat ovat valmiita laiturikokeisiin, mitkä pitää suorittaa ennen merikoeajoa.

#### 5.4.4 Keulaohjauspotkuri-invertterin käyttöönottotarkastukset

Keulaohjauspotkurin invertteriyksiköllä on oma DC-välipiirin erotuskahva, jotta voidaan erottaa keulaohjauspotkuri Azipod-yksikön invertteristä huoltotoimenpiteiden aikana. Tämän takia keulaohjauspotkurilla on myös oma latauspiirinsä, jos invertterimoduuli ladataan myöhemmin kuin Azipod-yksikkö. Lataus suoritetaan kääntämällä kahva Q10

päälle ja odottamalla että latausvalmis valo H1.1 syttyy, tämän jälkeen käännetään kahva Q10 pois päältä ja käännetään Q1 kahva päälle, mikä yhdistää DC-väliljännitepiirit yhteen.

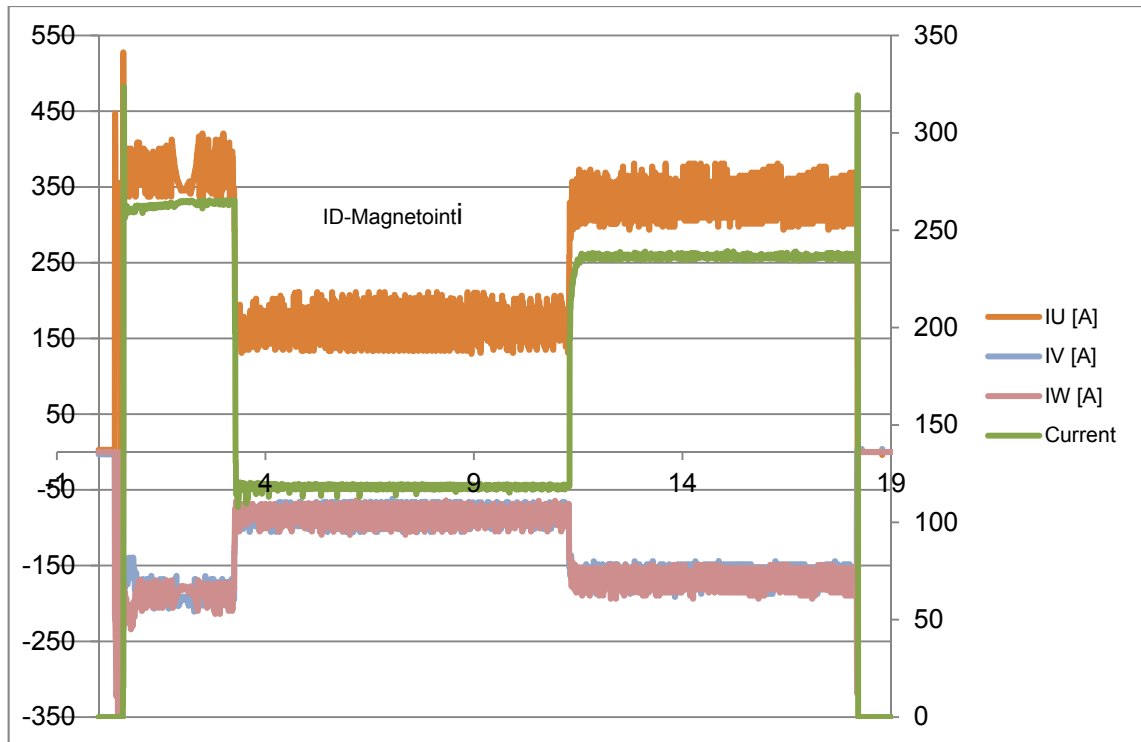
Keulaohjauspotkurin ohjauksessa saamme Schottel:n keulaohjauspotkurijärjestelmästä seuraavat komennot. Käynnistys- ja pysäytyskomennot pulssina, reset-komento pulssina ja käynninesto, jos keulapotkurin ohjaukulma ei ole nollakulmassa. Moottorin nopeusohje annetaan RMIO-kortin AI2:teen (analog input 2) virtaviestillä 4-20mA, jossa 0 rpm on 4 mA ja 1470 rpm on 20 mA. Lisäksi invertteriltä lähetetään seuraavia tietoja. Keulaohjauspotkurin moottorinnopeus ja ohjearvo lähetetään automaatioon, VDR (Voyage Data Recorder) ja Schottel:n järjestelmään.

Keulaohjauspotkurin invertterin ohjauskortille (RMIO) ladattiin uusiin versio system application -ohjelmasta. Tämän jälkeen vaihdettiin moottoriparametrit vastaamaan keulapotkurin moottorin arvoja ja parametroidaan optiomoduulit päälle. Ylemmästä ohjausjärjestelmästä luetaan keulaohjauspotkurin oloarvoparametrejä, mutta ei kirjoiteta parametreihin arvoja. System application -ohjelmalla ei voi suoraan muuttaa käynnistys- ja pysäytysparametrejä toimimaan pulsseina, joten tähän joutui tekemään myös adaptiivista ohjelmointia. Tämän lisäksi Schottel:n ohjauskeskus tarvitsi itsellensä tiedon, kun moottori ei pyöri. Tätä toimintoa ei oltu pyydetty kun piirustuksia oli tehty, joten jouduimme tekemään muutoksia kytkentöihin. Lähetämme valmiiksi Schottel:lle käy-tiedon releen K22 NO (normaalisti auki) kärkitietona, joten lisäsimme yhden varajohtimen K22 NC (normaalisti kiinni) kärkitietoon ja tämä tieto kytkettiin Schottel:n puolelta moottori ei pyöri -tietoon. Jouduimme myös tekemään toisen muutoksen, koska jos keulapotkurin ohjaukulma ei ole nollakulmassa, invertterissä on käynninesto päällä. Schottel halusi, että tämä ominaisuus on päällä vain käynnistyksen yhteydessä ei sen jälkeen. Tähän jouduimme tekemään sisäisiä johdotusmuutoksia, koska ohjauskortin RMIO:n terminaali X22:DI2 mihin käynninesto signaali oli kytkettynä on RUN ENABLE -signaali, jonka täytyy olla aktiivinen ajon aikana. Kytkimme RMIO:n terminaalista +24VDC X22:7 lenkin X22:DI2 terminaaliin, jotta saamme RUN ENABLE signaalin päälle pysyvästi. Ohjaukulman nollakulmatieto signaali, joka on käynnistyksenesto signaali kytkettiin ulkoisen DI/DO-moduulin RDIO-01 X11:1 terminaaliin ja DNGD kytkettiin RMIO:n X23:2 terminaalista RDIO-01 X11:2 terminaaliin. Käynnistyksenesto signaali ohjaukulman ollessa jossain muussa arvossa kuin nollakulma, tehtiin adaptiivisella ohjelmalla.

Keulaohjauspotkurin adaptiivisen ohjelman kuvaus. Käynnistyskäsky on mahdollista antaa sillanohjauspaneelista, jos seuraavat ehdot täyttyvät. Ensimmäinen ehto on se, että keulaohjauspotkurin DC-välipiiri on ladattu, päätilasanan MSW bitti 1 (Ready Run) tila vaihtuu nolasta ykköseen. Toinen ehto käynnistyskäskylle on, että Hätäseis-piiri ei ole aktiivinen, minkä tilatieto saadaan ohjauskortin RMIO:n DI1 (Digital input 1) tilasta. Kolmas ehto on, että sillanohjauspaneelista annetaan käynnistyskäsky +24VDC jännitepulssi RMIO:n DI3:seen (Digital input 3) ja neljäs ehto käynnistämiseksi on, että keulaohjauspotkuri on nollakulmassa, jonka tilatieto luetaan RDIO:n EXTDI1:stä (Optiomoduulin digital input 1 terminaali). Keulaohjauspotkurin nollakulmatietoa käytetään, vain käynnistykseen yhteydessä muuten sitä ei oteta huomioon. Näiden ehtojen täytyminen asettaa SR-lohkon ulostulon aktiiviseksi ja antaa käynnistyskomennon invertterille. Pysäytyskomento annetaan SR-lohkon Reset-pinniin, pysäytyksen voi antaa aktivoimalla DI4 (Digital input 4), mikä on pysäytyskomento ohjaussillalta tai jos hätäseis on aktiivinen, invertterin MSW:n bit 1 (Ready Run) on arvossa 0 tai invertterissä on vika aktiivisena MSW bit 3. Keulaohjauspotkurin adaptiivinen ohjelma liitteenä. [Liite 2]

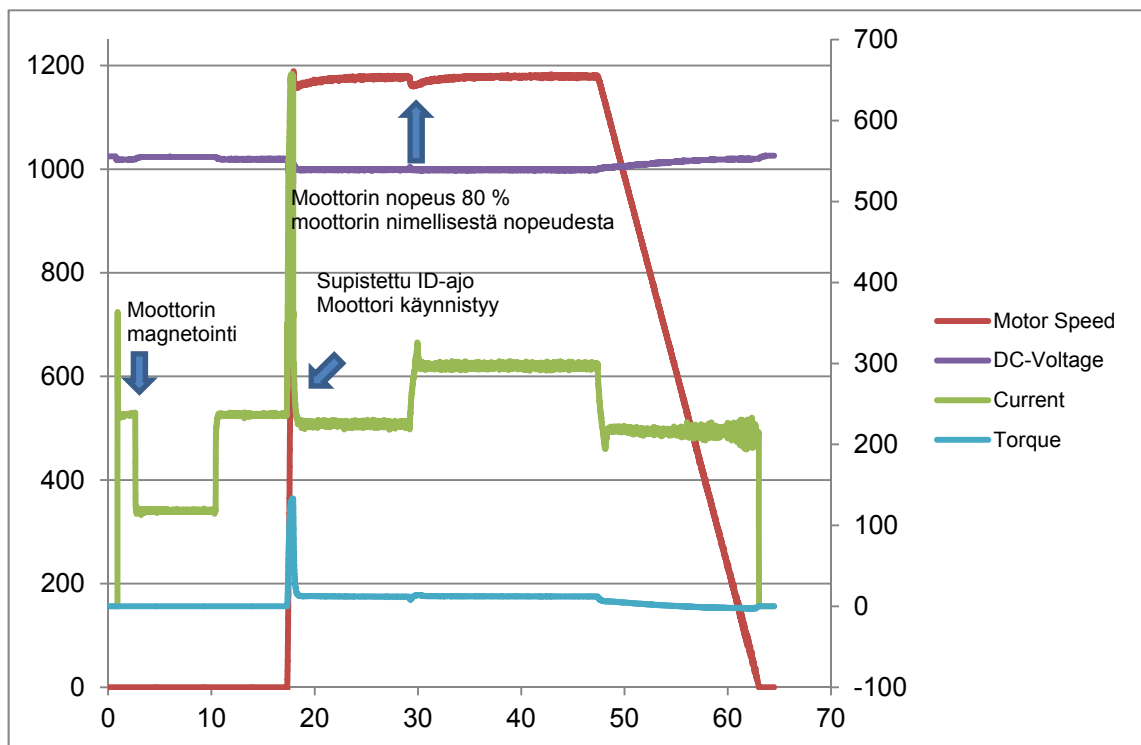
Hätäseis-piirin tarkastuksessa tarkastamme, että kaikki hätäseis-painikkeet toimivat ja antavat PTR:n katkaisijalle avauskomennon. Hätäseis-piiri ei ole aktiivisena kun piirissä on 230V jännite ja kun jännite tippuu hätäseis vaihtaa tilansa aktiiviseksi. Keulaohjauspotkurilla on hätäseis-painikkeita ohjaussillalla ja kummallakin siipiohjauspaikalla. Multidrive-taajuusmuuttajan syöttöyksikön hätäseis on kytketty samaan hätäseis-piiriin, mikä aiheuttaa myös propulsio syötön katkeamisen, kun painetaan keulaohjauspotkurin hätäseis-painiketta.

Keulaohjauspotkurin taajuusmuuttajalle tehdään myös adaptiivinen moottorimalli, kuten propulsioinverttereille. Taajuusmuuttajan välipiirin jännite nostetaan ylös lataamalla DC-jännite latauspiiriin kautta ja kytketään tietokone RMIO:n 3 kanavaan optisilla kuiduilla. Taajuusmuuttajan ohjaus otetaan drive debug -ohjelman kautta tietokoneelle ja annetaan käynnistyskäsky, jolloin taajuusmuuttaja alkaa suorittamaan ID-magnetointia moottorille. Kuvassa 40 on havainnollistettu keulaohjauspotkurin ID-magnetointi.



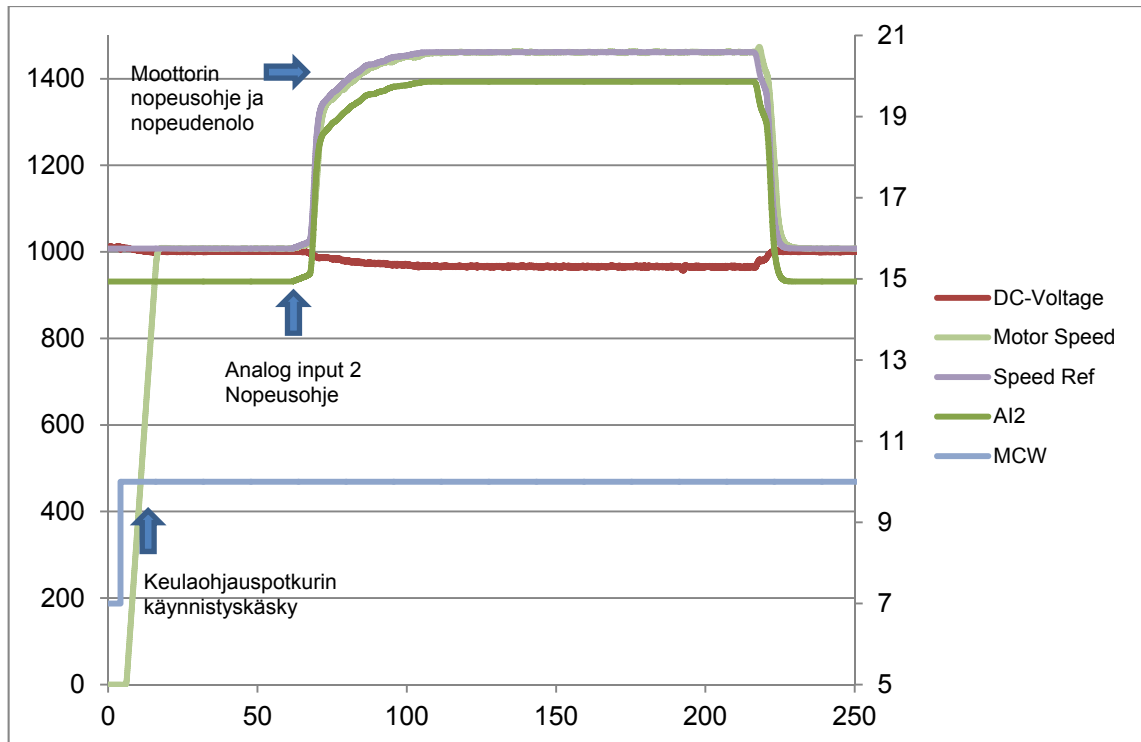
Kuva 40. Keulaohjauspotkurin ID-magnetointi.

ID-magnetoinnin jälkeen keulaohjauspotkurille suoritetaan supistettu ID-ajo, jolla saadaan tarkempi moottorimalli aikaiseksi, kuin ID-magnetoinnissa. Keulaohjauspotkurin taajuusmuuttajassa käytetään System application -ohjelmaa, jonka supistettu ID-ajo eroaa propulsioinverttereiden kestomagneettiohjelman supistetusta ID-ajosta. System application -ohjelmassa supistetussa ID-ajossa moottori pyörii 80% nimellisestä nopeudesta. Keulaohjauspotkurilla voidaan suorittaa supistettu ID-ajo, koska potkurin ohjaukskulmaksi voidaan asettaa nollakulma, jolloin moottori ei kuormitu ja laiva ei liiku. Kuvassa 41 on havainnollistettu keulaohjausmoottorin supistettu ID-ajo.



Kuva 41. Keulaohjausmoottorin supistettu ID-ajo.

Kun adaptiivinen moottorimalli ja virtamuuntimien kalibrointi on tehty tarkastetaan taajuusmuuttajan käynnistys- ja pysäytyskäskyjen toiminta, ohjauskulman nollatiedon vaikutus käyntikäskyyn ja nopeusohjeen toiminta. Keulaohjauspotkurin ohjauskulman ollessa jotain muuta kuin nolla taajuusmuuttaja ei käynnisty, vaikka käynnistyspainiketta painetaan ohjaussillalla. Taajuusmuuttajan käynnistyttyä ohjauskulman vaihtaminen ei sammuta taajuusmuuttajaa. Taajuusmuuttajan saa pysäytettyä painamalla pysäytyspainiketta, painamalla hätäseispainiketta tai siinä tapauksessa, että multidrive-taajuusmuuttajan syöttö katkeaa. Keulaohjauspotkurin nopeusohje on käynnistyksessä 1008 rpm ja ohjauskulmaa säädettäessä 1470 rpm, tämä saadaan tarkastettua nauhoittamalla Drive debug -ohjelmalla ohjauskulman säätöä, mikä voidaan todeta kuvasta 42.



Kuva 42. Keulaohjauspotkurin nopeusohjeen tarkastus.

#### 5.4.5 Jarrukatkojen ja jarruvastusten käyttöönottotarkastukset

Jarrukatkojen ja jarruvastuksen toiminnan kuvaus. Energia, mikä generoituu moottorista taajuusmuuttajaan nopeissa jarrutuksissa nostaa DC-jännitettä. Jarrukatkoja yhdistää jarruvastuksen välipiiriin aina kun DC-jännite nousee yli 1120 VDC jännitteen ja erottaa jarruvastuksen välipiiristä kun DC-jännite laskee alle 1096VDC jännitteen. Ylijännite vian raja on 1210VDC, jos laite saavuttaa kyseisen rajan laite vikaantuu OVERVOLTAGE vikaan. Kuvassa 43 voidaan havaita DC-jännitteen kontrolli ja vikarajat. [19]

*DC voltage control and trip limits*

High voltage trip limit (130% of $U_{1max}$ )	
High voltage control limit (124%)	
Brake chopper limit (120%)	
Low voltage control limit (82%)	
Charging limit (79%)	
Low voltage tripping limit (60% of $U_{1min}$ )	

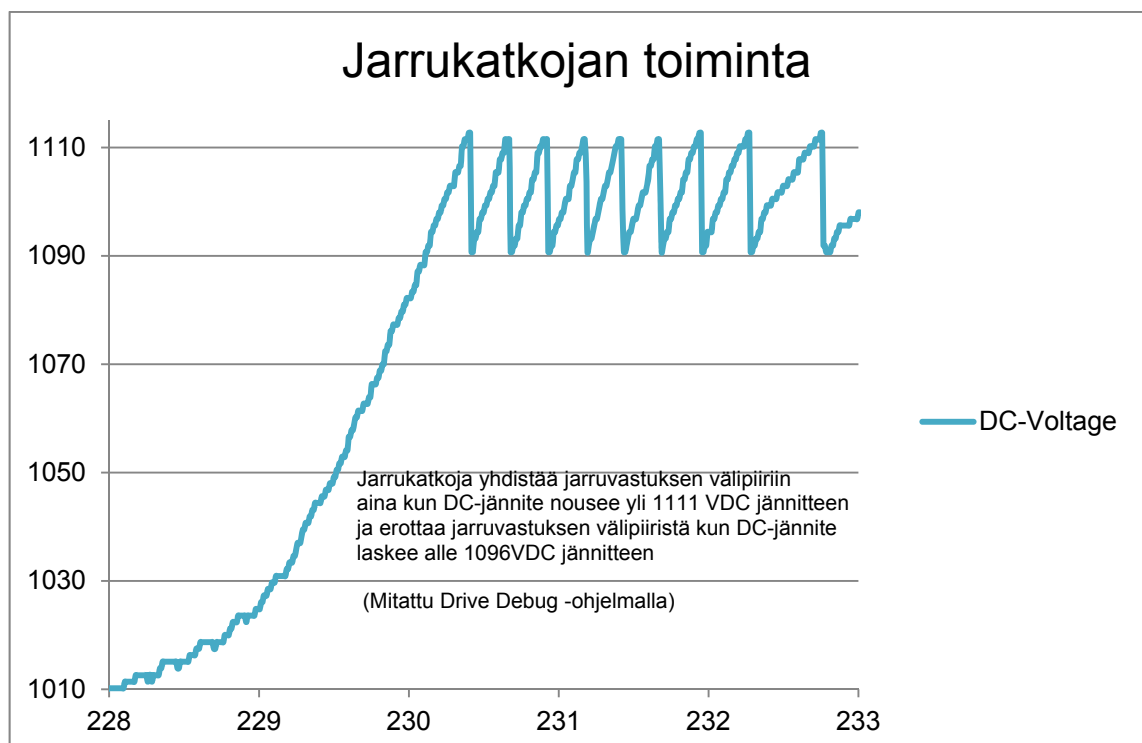
Kuva 43. DC-jännitteen kontrolli ja vika rajat. [20]

Jarrukatkojan ohjauskortti valvoo systeemin tilaa ja huomaa seuraavat viat:

- jarruvastuksen oikosulun
- katkojan (IGBT) oikosulun
- ohjauskortin vian
- katkojan ja vastuksen yllilämmön.

Kun katkojan ohjauskortti huomaa vian relelähtö K1 vetää ohjauskortilla ja kytkee 24VDC propulsioinverterin RMIO:n DI6 (Digital input 6) terminaaliin X22:6. Tämä aktivoi jarrukatkojan-vian ja generoi vian ylempään ohjausjärjestelmään.

Multidrive-taajuusmuuttajassa on kaksi jarrukatkojaa kytkettynä DC-piirin rinnalle. Nämä katkojat toimivat isäntä/seuraaja toiminnolla. Ensimmäinen jarrukatkoja toimii isäntänä ja ohjaa seuraaja katkojaa valokuidun kautta. Jarrukatkojien ohjauskortilta tarvitsee tarkastaa jännitteen valitsimet, että ne on laitettu 690V syötölle ensimmäisessä jarrukatkojassa ja toisessa katkojassa FIBER-valintaan. Kuvassa 44 on havainnollistettu jarrukatkojan toimintaa.



Kuva 44. Jarrukatkojan toiminta käytännössä, DC-jännite mitattu vianhaun yhteydessä.



#### 5.4.6 Ylemmän ohjausjärjestelmän käyttöönottotarkastukset

Propulsiojärjestelmän sydän on Propulsion Control Unit (PCU). Propulsiotaajuusmuuttajia ohjaa kaksi erillistä AC800M PCU -yksikköä, kummallakin puolella Port FC1 multidrive-taajuusmuuttajalla ja Stbd FC2 multidrive-taajuusmuuttajalla on oma PCU-yksikkönsä. Vika toisessa yksikössä ei vaikuta toisen toimintaan.

Yhteen propulsio-ohjausjärjestelmään sisältyy seuraavat AC800 komponentit:

- Application Controller PM864APK01
- Digital input DI810, (16Ch), 4 kpl
- Digital output DO820, (8Ch), 3 kpl
- Analog input AI810, (8Ch), 1 kpl
- Analog input AI820, (4Ch), 1 kpl
- Analog input AI830, (8Ch PT100), 2 kpl
- Analog output AO810, (8Ch), 1 kpl
- Drive bus interface CI858
- Profibus interface CI854
- TB820 interface for optical Module bus.

ECR:n operaattoripaneelit käyttää kommunikointiin PCU:n kanssa Ethernet protokollaa. PCU on kytketty Ethernet-reitittimeen, josta on haaroitettu ethernet-kaapelit operaatiopaneelille ja toiselle multidrive-taajuusmuuttajalle. Ethernet-reitittimet antavat vikaantuessa tiedon toisen multidrive-taajuusmuuttajan PCU:lle ja operaattoripaneelille. RCU (Remote Control Unit) ja PCU käyttää kommunikointiin profibus-DP suurimpaan osaan signaaleja, vain sillan propulsioin varaohjausjärjestelmä on toteutettu johdotuksin. PCU antaa vikailmoituksen operaattoripaneelille, jos profibus-yhteys irtoaa

AC800M-keskussyksikön ja RMIO-ohjauskorttien välinen tiedonsiirto tapahtuu DDCS-valokuitulinkin avulla. PCU on kytketty drive bus interface CI858-moduuliin, josta on kytketty valokuidulla NDBU-95 valokuituhaaroittimeen. Valokuituhaaroittimelle on kytketty valokuidulla DSU:n, LCU:n, propulsioinverterin ja keulaohjauspotkurin RMIO-ohjauskorttien valokuitukanavaan Ch0, jonka kautta niiden ohjauskortteja voidaan

ohjata. Ennen kuin valokuituhaaroitin toimii täytyy siinä määrittää lähetysnopeudeksi 4Mbit/s. Lähetysnopeuden määrittäminen tehdään siltaamalla X12 liittimen nastat 5 ja 6. Tämän lisäksi haaroittimen osoite pitää määrittää dippikytkimien avulla. DSU:n, LCU:n ja propulsioinvertterin Ohjauskorttien parametri 98.02 COMM. MODULE täytyy vaihtaa arvoon ADVANT/N-FB, jotta parametreihin voi kirjoittaa. Näiden muutoksien jälkeen niitä pystytään ohjaamaan ylemmän ohjausjärjestelmän kautta.

## 6 Ohjauspaikat ja hätälähetin

Ohjauspaikkojen käyttöönottotarkastuksissa tarkastetaan ohjauspaneelien kytkennät, kommunikointi muiden ohjausjärjestelmien kanssa ja toiminnallisuus. Asennusten aikana rikkoutuneet painikkeet, lamput ja mittarit vaihdetaan ja varmistetaan niiden toiminta. Ennen kuin ohjauspaikoilta ohjataan laivan Azipod-yksikön propulsiota tai kääntöyksikköä kaikki komennot ja indikaatiot pitää varmistaa lukemalla komennot ja indikaatiot taajuusmuuttajien ohjauskorteilta. Ohjauspaikoilta annetut Azipod-yksikön propulsiotaajuusmuuttajien ja kääntökäyttötaajuusmuuttajien komennot tarkastetaan monitoroimalla komentoja taajuusmuuttajilla samalla kun niitä painetaan. Näiden tarkastuksien jälkeen voidaan ohjata Azipod-yksikön propulsiota tai kääntöyksikköä ohjauspaikkojen paneeleilta.

Kauko-ohjausjärjestelmä (RCU) on termi joka käsittää kaikki ohjauspaikat, jolla ohjataan Azipod-yksikköjen potkurin tehoa, pyörimisnopeutta ja ohjauskulmaa. Ohjauspaikka on paneeli, josta voidaan ohjata Azipod-yksikön propulsiota ja sen kulmaa. Tässä laivassa on ohjauspaikat seuraavissa sijainneissa niiden tärkeysjärjestyksessä:

- LBU (Local backup unit, hätäohjauspaikka Azipod-huoneessa)
- ECR (Engine Control Room, moottoreiden ohjaushuone)
- WH Backup (Ohjaussillan hätäohjauspaikka)
- Bridge (Ohjaussilta)
- Stdb wing station (Ohjaussillan styyrpuurin puoleinen sivuohjauspaikka)
- Port wing station (Ohjaussillan paapuurin puoleinen sivuohjauspaikka).

## 6.1 LBU-hätäohjauspaikka

Hätäohjauspaikalla Azipod-huoneessa voidaan ohjata Azipod-yksikön propulsiota ja kääntökulmaa. Ohjauspaneelin painikkeet on kiinteästi kytketty propulsio- ja kääntökäyttötaajuusmuuttajiin, jotta voidaan varmistaa ohjattavuus kauko-ohjausjärjestelmän vikaantuessa. Ohjauspaneelissa on analogiset mittarit propulsio momentin ohjearvolle, propulsio momentin oloarvolle ja teholle. Mittarit on kytketty suoraan propulsiotaajuusmuuttajalle. Ohjauspaneelissa on indikaatiot ohjauspaikalle, hälytyksille ja vioille. Ohjauspaneelissa on hätäseispainike ja indikaatio propulsiotaajuusmuuttajalle. Azipod-yksikön ohjauksen kulma voidaan todeta suoraan mekaanisesta osoittimesta liukurenkaan päältä tai kääntökäyttötaajuusmuuttajien CDP312-paneelista. Kuvassa 45 on LBU-ohjauspaikan hätäohjauspaneeli. [21]



Kuva 45. Azipod-huoneen hätäohjauspaneeli.

## 6.2 ECR-ohjauspaikka

ECR:n ohjauspaneelilla voidaan ohjata propulsiotaajuusmuuttajia ja antaa Azipod-yksiköiden potkureille nopeusohjetta, mutta ECR ohjauspaneelilla ei voida ohjata Azipod-yksikön kulmaa. Ohjauspaikalla on myös operaattoripaneelit, joilla voidaan monitoroida Compact Azipod -järjestelmää, kuitata järjestelmän varoituksia ja vikoja. [21]

ECR:n ohjauspaikka sisältää seuraavat toiminnot:

- Azipod-yksikköjen propulsiojärjestelmän ohjaus
- Azipod-yksikköjen kontrollipaikan valinta ECR:n ja ohjaussillan välillä
- Azipod-yksikköjen propulsiojärjestelmän tila, varoitus ja vikaindikaatiot
- Azipod-kääntöyksikköjen tila, varoitus ja vikaindikaatiot
- ohjauspaikan lampputesti painikkeen
- hätäseis-painikkeet multidrive-yksiköille
- operaattoripaneelit propulsiojärjestelmälle
- analogiamittarit Azipod-yksikköjen kulmatiedoille
- analogiamittarit Azipod-yksikköjen nopeudenoloarvolle
- analogiamittarit Azipod-yksikköjen teholle.

Azipod-yksikköjen nopeusohje annetaan ECR:n ohjaspaneelien sähkökahvoilla, jotka antavat 4-20mA virtaviestin RCU:lle, missä 12mA keskikohta on nollaohje nopeudelle. RCU lähettää nopeusohjeen propulsioinvertterien PCU:lle profibus-väylän avulla. Propulsioinvertterin säätimien vapautus alkaa, kun sähkökahvoilla on annettu 15 rpm nopeusohje, mikä on skaalattu PCU:lla. Sähkökahvat seuraavat aktiivisen ohjauspaikan nopeusohjetta, eli jos sillan sähkökahva on asennossa viisi, ECR:n sähkökahva siirtyy myös arvoon viisi. Kuvassa 46 on ECR-ohjauspaikan ohjauspaneeli.

[21]



Kuva 46. ECR-ohjauspaikan ohjauspaneeli.

### 6.3 Ohjaussilta

Ohjaussillan pääohjauspaikka on keski sillan ohjauspaneeli, jolla voidaan ohjata Azipod-yksikköjen propulsiota ja kääntökulmaa. Sillan keskipaneeli kommunikoi RCU:n kanssa CAN-väylän avulla ja RCU kommunikoi propulsioinverterin kanssa profibus-väylän kanssa. Keskipaneelissa sijaitsee myös sillan hätäohjauspaikka propulsiolle ja kääntöyksikölle, jotka on kiinteästi kytketty propulsiotaajuusmuuttajille ja kääntökäyttötaajuusmuuttajille.[21]

Ohjaussillan keskipaneeli sisältää seuraavat toiminnot:

- Azipod-yksikköjen propulsio ja kääntöyksikköjen ohjaus
- Azipod-yksikköjen hätäohjauspaikan propulsiolle
- multidrive-taajuusmuuttajien hätäseis-painikkeet
- Azipod-yksikköjen kääntöyksikön hätäohjauspaikka
- Azipod-yksikköjen propulsio tila, varoitus ja vikaindikaatiot
- Azipod-kääntöyksikköjen tila, varoitus ja vikaindikaatiot
- Azipod-yksikköjen kontrollipaikan valinnat ja indikaatiot

- ohjauspaikan lampputestipainikkeen
- ohjausruorin
- analogiamittarit Azipod-yksikköjen kulmatiedoille
- analogiamittarit Azipod-yksikköjen nopeudenoloarvolle
- analogiamittarit Azipod-yksikköjen teholle.

Azipod-yksikköjen propulsio ja kääntökäyttöjen ohjaus tapahtuu sähkökahvojen avulla, samalla sähkökahvalla voidaan antaa propulsiolle nopeusohjetta ja kääntöyksikölle kulmaohjetta. Azipod-yksikön propulsio hätäohjauspaikan ollessa valittuna voidaan antaa nopeusohjetta propulsiotaajuusmuuttajille nuolipainikkeilla. Kääntöyksikön hätäohjauspaikan ollessa valittuna voidaan kääntöyksikköä kääntää 6°/s kääntövivun avulla, kun vipua kääntää oikealle Azipod-yksikkö kääntyy paapuriin päin ja kun vipua kääntää vasemmalle Azipod-yksikkö kääntyy styrrpuuriin päin. Ohjausruori voidaan käyttää vain Azipod-kääntöyksikön kääntämiseen ja sillä voidaan kääntää Azipod-yksikköä 0-35° asteeseen paapuriin tai 0-35° asteeseen styrrpuuriin. Kuvassa 47 on ohjaussillan keskipaneeli. [21]

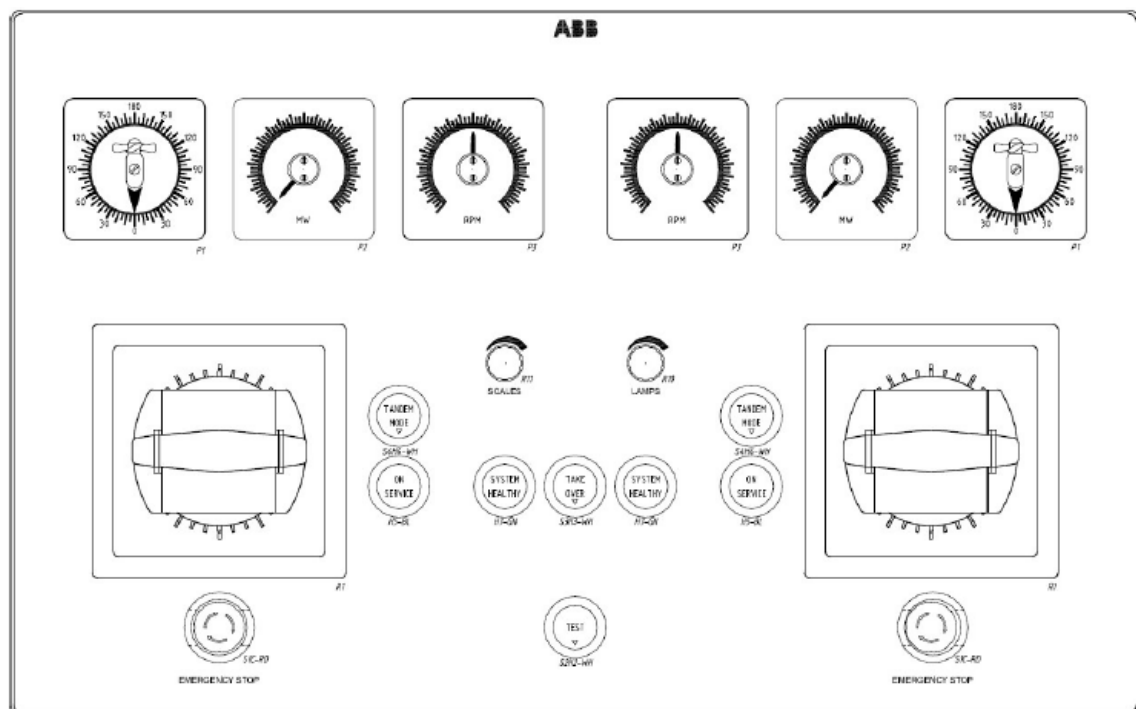


Kuva 47. Ohjaussillan keskipaneeli

Ohjaussillalla sijaitsee myös laivan sivuohjauspaikat, joita käytetään yleensä laituriin ajon ja siitä poistumisen yhteydessä. Sivuohjauspaikoilta ei voi käynnistää tai pysäyttää Azipod-yksikön propulsiota tai kääntöyksikköä. RCU ei näe eroa sivuohjauspaikkojen ja sillankeskikonsolin välillä, ohjausmielessä ne ovat yksiohjauspaikka. Sillan sivuohjauspaikan paneeli havainnollistetaan kuvassa 48.

Sillan sivuohjauspaikat sisältävät seuraavat toiminnot:

- Azipod-yksikköjen propulSION ja käännön sähkökahvan
- ohjauspaikan valintapainikkeen
- ohjausjärjestelmä kunnossa indikaatio
- ohjauspaikan lampputestipainikkeen
- multdrive-taajuusmuuttajien hätäseis-painikkeet
- analogiamittarit Azipod-yksikköjen kulmatiedoille
- analogiamittarit Azipod-yksikköjen nopeudenoloarvolle
- analogiamittarit Azipod-yksikköjen teholle.



Kuva 48. Sillan sivuohjauspaikan ohjauspaneeli. [21]

## 6.4 Häätälähetin

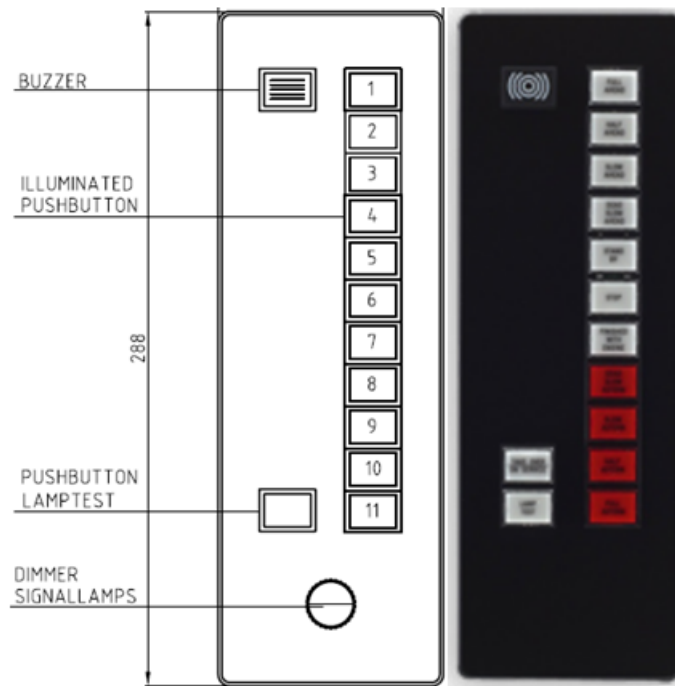
Hätälähettimen käyttöönottotarkastuksissa tarkastetaan lähettimien kytkennät soittamalla kaikki kaapelit läpi kaikissa ohjauspaikoissa. Kaapeleiden varmistamisen jälkeen tarkastetaan, että komennot ja hälytysäänet vastaavat sillanohjauspaneelin hätälähettimen komentoja kaikissa ohjauspaikoissa. Painikkeiden tarkastuksen jälkeen tarkistetaan myös VDR:n nauhoitukset, jotta myös VDR:ssä kaikki painikkeet tallentuisivat oikein.

Hätälähetin on kommunikaatiojärjestelmä, jolla voidaan lähettää moottorikomentoja laivan eri ohjauspaikkojen välillä. Häätälähettimen avulla ohjaussillan operaattori voi pyytää propulsiolle eri nopeuksia, vaikka muut kommunikaatiojärjestelmät olisivat vioittuneet. Häätälähetimet sijaitsevat Azipod-yksikköjen ohjauspaikoilla Sillan keskipaneelissa, ECR:ssä ja Azipod-huoneessa. Kaikki Häätälähetimet on kiinteästi johdotettu toisiinsa ja VDR:ään, jotta voitaisiin varmistaa lähettimien korkea toimintavarmuus. Ohjaussillan hätälähetimen komentopainiketta painamalla, ECR:n ja Azipod-huoneen hätälähettimen varoitus alkaa soida ja hälytys loppuu kun vastaanottaja painaa kyseistä komentopainiketta ohjauspaikalla. Tämän jälkeen vastaanottaja säätää propulsioon nopeuden hätälähettimen indikoimaan nopeuteen. Kaikki hätälähetimellä lähetetyt komennot nauhoitetaan VDR:ään(Voyage Data Recorder). Kuvassa 49 on ohjaussillan hätälähetin. [22]

Hätälähetin sisältää seuraavat painikkeet:

- Full Ahead (Täysi teho eteenpäin)
- Half Ahead (Puoliteholla eteenpäin)
- Slow Ahead (Hitaasti eteenpäin)
- Dead Slow Ahead (Erittäin hitaasti eteenpäin)
- Stop (Pysäytä)
- Dead Slow Astern (Erittäin hitaasti taaksepäin)
- Slow Astern (Hitaasti taaksepäin)
- Half Astern (Puoliteholla taaksepäin)
- Full Astern (Täysi teho taaksepäin).





Kuva 49. Ohjaussillan hätälähetin. [22]

## 7 Laiturikoe

Laiturikokeiden päätarkoituksena on varmistaa järjestelmien toimivuus turvallisissa olosuhteissa, ennen merikoeajoja. Laiturikokeessa demonstroidaan luokituslaitoksen edustajalle Azipod-yksikön propulSION ja kääntöyksikön toiminnallisuus. Luokituslaitoksen edustaja päättää laiturikokeiden perusteella antaako se laivalle luvan jatkaa merikoeajolle.

Azipod-kääntöyksikköjen laiturikokeessa demonstroitiin seuraavat kohdat:

- käynnistys, pysäytys ja ohjaukulman säätö (LBU)
- käynnistys, pysäytys ja ohjaukulman säätö sähkökahvalla ja hätäohjauspaikan vivulla (Ohjaussilta)
- toimintahäiriöt, jotka eivät estä kääntöyksikön ohjaamista
- toimintahäiriöt, jotka estävät kääntöyksikön ohjaamista automaattinen käynnistys sähkökatkon jälkeen.

Azipod-yksikköjen propulsio laituri kokeessa demostroitii seuraavat kohdat:

- Propulsiomoottorin käynnistys, ohjearvon nostaminen 20 rpm ja pysäytys (LBU, ECR ja ohjaussilta)
- Hätäseis-painikkeiden toiminta ja hätäseis-painikkeiden johtimen katkeamisen monitorointi (LBU, ECR, FC1, FC2, ohjaussillan keskipaneeli ja sivuohjauspaneelit)
- Propulsio ohjauspaikkojen vaihto (LBU, ECR, ohjaussillan keskipaneeli ja sivuohjauspaneelit)
- Propulsio ohjaus ohjaussillan hätäohjauspaikalta
- Propulsio käynnistyksen lukitukset
- Kommunikaatiohäiriö PCU:n ja taajuusmuuttajan välillä, PCU:n ja RCU:n välillä ja kommunikaatiohäiriö Ethernet liikenteessä
- Nopeusohjeen signaalihäiriö
- Ohjauspaikan valintavivun häiriö
- Hätälähtimen toiminta
- Propulsiojärjestelmän UPS-varmistus.

## 8 Merikoeajo

Merikoeajo liittyy aluksen käyttöönottoon ja se on ensimmäinen kerta kun alusta testataan elementissä mihin se on suunniteltu ja rakennettu. Koeajon tarkoitus on selvittää mm. aluksen tekniikkaa, sen toimintoja, laitteita, ohjailuominaisuuksia sekä järjestelmien että laitteiden toimivuutta ja sääntöjenmukaisuutta. Koeajolla suoritetaan kokeita, joita ei voi suorittaa laituri kokeiden yhteydessä laiturissa. Koeajomatkalla suoritettavat kokeet ovat mm. koneistojen säädöt, rasitus- ja kestävyyskokeet sekä ns. laivatekniset kokeet, kuten esim. nopeuskokeet ja ohjailukokeet. Näiden lisäksi suoritetaan erinäisiä mittauksia, kuten esim. hälytysäänimittauksia, melu- ja värähtelymittauksia. Koeajomatkalla ja koekäytöllä hyväksytään alus ja sen järjestelmät sekä varmistetaan, että ne vastaavat laivanrakennussopimuksen spesifikaatioita.[23]

## 9 Yhteenveto

Compact Azipod -laivan käyttöönottamiseen tarvitaan osaamista monelta eri osa-alueelta; mekaniikka-, sähkötekniikka- ja tietotekniikkaosaamista, automaatiojärjestelmien sekä merisäännösten tuntemusta. Työssä pääsi tutustumaan erilaisiin automaation ja tietotekniikan osa-alueisiin, kuten myös laivan voimalaitokseen ja sähkönjakelun toimintaan. Pääosassa työssä oli kuitenkin Compact Azipod ja sen ohjaus.

Käyttöönotossa suurimpia vaikeuksia tuotti propulsiotaajuusmuuttajien asennuksien korjaus, invertterimoduulien DC-kondensaattorien elvyttäminen ja keulaohjauspotkurien adaptiiviset ohjelmoinnit. Haasteena käyttöönotossa oli myös eri järjestelmien käyttöönoton aikatauluttaminen telakan ja muiden järjestelmätoimittajien kanssa.

Tämän insinööriyön kohteena olevan Compact Azipod -laivan käyttöönotto ei ole vielä kokonaan loppunut, vaan jäljellä on vielä toinen merikoeajo, jolla suoritetaan erinäisiä mittauksia ja säätöjä esim. hydrodynaamiset mittaukset ja propulsiomoottoreiden moottorimallin säädöt.

Tässä insinööriyössä omat työperäiset kokemukset kyseisestä järjestelmästä vaikuttivat siihen, ettei uusia näkökulmia löytynyt samalla tavalla, kuin vieras aihe olisi voinut tarjota. Lopputuloksena voidaan todeta käyttöönoton sujuneen suurinpiirtein suunnitelmien mukaan.

## Lähteet

- 1 <http://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti/historia>. Luettu 30.09.2014
- 2 <http://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti/yhtyma>. Luettu 30.09.2014
- 3 Azipod® CO Product Introduction 3AFV6018457 Rev.C
- 4 Propulsion control system software 3AFV71278000201 Rev F.
- 5 Azipod C Lubrication system maintenance 3AVF6020905 Rev.A
- 6 Capacitor reforming instructions 3BFE64059629 Rev E.
- 7 Bearing condition monitoring 3AVF6000316 Rev.A
- 8 Azipod C Slip Ring Unit Maintenance 3AVF6020841 Rev.A
- 9 Compact Azipod® Air Supply Maintenance 3AVF6019665 Rev.A
- 10 Compact Azipod® Motor Module Maintenance in Operation 3AVF6000317 Rev.C
- 11 Compact Azipod Basic Maintenance Manual 3AVF5501365 Rev.A
- 12 Joni Harju, ACS880 Toiminnallisuus, s.16, Insinööriyö, Vaasan ammattikorkeakoulu
- 13 Niko Ekholm, Taajuusmuuttajan välipiirin elektrolyyttikondensaattoreiden elvyttäminen pitkän seisontajakson jälkeen, s.1, Insinööriyö, Metropolia
- 14 ACS800 Liquid-Cooled Diode Supply Control Program, Firmware manual 3AFE68746299 Rev.B
- 15 ACS800-1007LC Liquid Cooling Unit, User's manual 3AFE68621101 Rev.D
- 16 ACW 695 Water Cooling Unit, Technical Specification, 3AFEvesilaitoksen\_kuvaus.DOC Rev.B
- 17 Permanent Magnet Synchronous Machine Control Program, Supplement to System Control Program 7.x Firmware manual 3AFE64492641 Rev.G
- 18 System Control Program 7.x Firmware manual 3AFE64670646 Rev.F

- 19 ACW621 Braking Chopper Sections 400 to 2400 kW, User's manual 3BFE64314874 R0125 EN
- 20 Azipod® Steering system function description 3AVF6016956 Rev.A
- 21 Tekninen opas nro 1, Suora momenttisäätö, 3BFE61367772 RO105 Rev.B
- 22 Engine Order Telegraph Systems, Kwant Controls.  
<http://www.kwantcontrols.com/documents/44560ce9-e9be-4f66-bf87-2c59f756d88a/CmsHandlerDocumentHandler.ashx>. Luettu 29.09.2014
- 23 Manual Remote Control System. D348344-010-B.doc Rev.B
- 24 Jan-Christian Welander, Koeajoaluksen meriturvallisuus merikoeajolla, s.23, Opinnäytetyö, Satakunnan ammattikorkeakoulu
- 25 <http://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti/suomessa>. Luettu 30.09.2014



