

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Tekniikka ja liikenne / Merenkulkualan insinööri

Tero Oksanen

SÄHKÖINEN RUORIPOTKURI

Insinöörityo 2013

## TIIVISTELMÄ

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Merenkulun koulutusohjelma

OKSANEN, TERO

Sähköinen ruoripotkuri

Insinöörityö

76 sivua

Työn ohjaaja

Lehtori Ari Helle

Toimeksiantaja

Kymi Technology

Joulukuu 2013

Avainsanat

sähköinen ruoripotkuri, Azipod, DAT, DAS, CRP

Työn aiheena on sähköinen ruoripotkuri, jota käsitellään ABB Oy:n tuotemerkin Azipodin näkökulmasta, sillä siitä koko laitekonsepti sai alkunsa ja se on myös tunnetuin järjestelmä tällä saralla. Insinöörityön tavoitteena on koota hajanainen tieto yhteen ja lisätä ymmärrystä eri Azipod-järjestelmistä, niiden sovelluksista ja kehityksestä. Pääpaino on laitteistossa ja teknisissä ratkaisuissa, jotka sijaitsevat Azipod-laitehuoneessa ja veden alla olevassa propulsioyksikössä.

Lähdemateriaalina on käytetty pääasiassa valmistajien Internetissä julkaisemia oppaita ja esitteitä sekä alan lehtiä ja kirjallisuutta. Suurin osa materiaalista on ollut englanninkielistä, joten osa termeistä ja käsitteistä on jouduttu vapaasti suomentamaan, sillä virallista vastinetta on ollut mahdoton löytää. Aihealueen laajuudesta johtuen käsiteltävät asiat käydään läpi enemmän yleisellä tasolla, pyrkien välttämään liian yksityiskohtaista käsittelyä.

Azipod-järjestelmä kehitettiin reilu kaksikymmentä vuotta sitten. Aluksi laitetta käytettiin pelkästään jäänmurtoon erikoistuneissa aluksissa, mikä johtui sen suunnittelun lähtökohdista. Kuitenkin vuosien mittaan järjestelmä on kehittynyt ja mallisto laajentunut, joten nykyään se voidaan asentaa moniin erityyppisiin aluksiin. Merkittävin alussegmentti on kuitenkin risteilijät, joihin suurin osa yksiköistä on asennettu. Azipod on myös mahdollistanut talvimerenkulun erityisesti suunnitellun DAS-konseptin ja niin sanotun CRP-järjestelmän käytön paljon tehoa vaativissa aluksissa.

## ABSTRACT

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

University of Applied Sciences

Degree Program in Maritime Technology

OKSANEN, TERO

Electric Podded Propulsion

Bachelor's Thesis

76 pages

Supervisor

Ari Helle, Lecturer

Commissioned by

Kymi Technology

December 2013

Keywords

electric podded propulsion, Azipod, DAT, DAS, CRP

The topic of this thesis is electric podded propulsion and the study was conducted from the perspective of Azipod which is a registered trademark, owned by ABB company. It was the initiator of the concept and it is the best known brand in podded propulsion. The Azipod system was developed a little over twenty years ago. Due to the origin of Azipod design, the first applications were installed only in ships with good ice braking capabilities. Over the years the system has made progress and the model range has been expanded, so nowadays it can be installed in various kinds of vessels.

The aim of the thesis was to gather the key information on the subject and improve the knowledge of Azipod systems, applications and the system development. The main focus was on different appliances and technical solutions which are located in Azipod room and in the propulsion unit. The source material was gathered from the manufacturers' internet guides and brochures, as well as trade journals and other literature. Most of the material was in English, so due to translation into Finnish, some of the terms and concepts might differ from the original meaning.

During the time the study was made, the first observed issue was the variety of available information which was also very scattered between different sources. Most of the study consisted of gathering the main features of the quite extensive topic trying to avoid too detailed information. In conclusion it can be said that Azipod has developed to become a technically competitive system in the field of marine propulsion, and vessels of the future are increasingly to be equipped with podded propulsion.

# SISÄLLYS

## TIIVISTELMÄ

## ABSTRACT

KÄSITELUETTELO	7
1 JOHDANTO	8
2 SÄHKÖINEN RUORIPOTKURI	8
2.1 Sähköisen propulsiohistoriaa	9
2.2 Sähköisten ruoripotkurien valmistajia	11
2.2.1 ABB Oy, Azipod	11
2.2.2 Rolls-Royce, Mermaid	12
2.2.3 Siemens-Schottel, SSP/eSIPOD	12
2.2.4 SAM Electronics ja Wärtsilä, Dolphin	12
3 AZIPOD-KONEISTON ESITTELY	13
3.1 Laitteiston rakenne	13
3.1.1 Propulsioyksikön runko	14
3.1.2 Propulsiomoottori	15
3.1.3 Laakerointi	15
3.1.4 Tiivisteet	16
3.1.5 Liukurengasyksikkö	17
3.1.6 Kääntömoottorit	18
3.1.7 Ohjauksen jarrujärjestelmä	19
3.1.8 Ilman jäähdytysyksikkö	20
3.2 Järjestelmän operointi	21
4 DIESELSÄHKÖINEN KONEHUONE	22
4.1 Dieselsähköisen konehuoneen valinta	23
4.2 Dieselsähköisen konehuoneen tuomat edut	24
4.3 Dieselsähköisen konehuoneen negatiiviset puolet	24
5 TALVIMERENKULKU JA AZIPOD	26
5.1 DAT- ja DAS-konsepti	28

5.1.1	MT Tempera	29
5.1.2	Norilskiy Nickel	30
5.2	Azipod jäänmurtaajissa	31
5.3	Vinojäänmurtaaja	32
5.4	Azipodin luotettavuus jääolosuhteissa	33
5.5	Azipodin ja Z-Drive -ruoripotkurin vertailu jääajossa	33
6	MALLIVAIHTOEHDOT	35
6.1	Mallikoodi	35
6.2	Azipod V-sarja	36
6.3	Compact Azipod	36
6.3.1	Referenssit eri alustyypeissä	37
6.3.2	Rakenne	37
6.3.3	Moduulit	38
6.3.3.1	Ohjausyksikkömoduuli	38
6.3.3.2	Kannatinmoduuli	40
6.3.3.3	Moottorimoduuli	40
6.3.3.4	Potkurimoduuli	42
6.3.4	Propulsioyksikön vaihto merellä	42
6.3.5	Esimerkki määräaikaishuollosta	44
6.3.5.1	Huollon toteutus ja löydökset	44
6.3.5.2	Huoltovälin pidennys	46
6.4	Azipod X-sarja	47
6.4.1	Uudistettu rakenne	48
6.4.1.1	Runkorakenne	49
6.4.1.2	Sähköinen kääntöjärjestelmä	50
6.4.1.3	Tiivisteet	50
6.4.1.4	Laakerointi	52
6.4.2	Alusreferenssit	53
6.5	CRP-konsepti	54
6.5.1	Ensimmäiset CRP-konseptin alukset	55
6.5.2	Ison kokoluokan konttilaivat	57
6.5.2.1	Perinteiset propulsioratkaisut	57

6.5.2.2 CRP-ratkaisu	58
7 AZIPOD-LAITTEIDEN KEHITYS	60
7.1 Toimintavarmuus	60
7.2 Tehokkuuteen liittyvät parannukset	62
7.2.1 X-tail	63
7.2.2 Azipod Dynamic Optimizer	64
7.3 Tulevaisuuden näkymät	65
7.3.1 Suuret konttilaivat	65
7.3.2 LNG-tankkerit	66
7.3.3 Arktinen merenkulku	66
8 YHTEENVETO	67
LÄHTEET	70

## KÄSITELUETTELO

CRP	Konsepti, jossa kaksi vastakkain olevaa ja vastakkaisiin suuntiin pyörivää potkuria (Contra Rotating Propellers)
DAS	Kaksitoiminen alus (Double Acting Ship)
DAT	Kaksitoiminen tankkeri (Double Acting Tanker)
DE	Käyttöpään (laakeri) (Drive end)
DP	Dynaaminen paikannusjärjestelmä aluksille (Dynamic positioning)
DWT	Aluksen "kuollut paino" tonneina (Deadweight tonnage)
EMC	Sähkömagneettinen yhteensopivuus (Electromagnetic compatibility)
LNG	Nesteytetty maakaasu ( Liquefied natural gas)
NDE	Vapaan pään (laakeri) (Non Drive End)
MCR	Moottorin korkein jatkuvaan käyttöön soveltuva teho (Maximum continuous rating)
Single-skeg	Perän pohjan runkorakenne, jossa yksi potkuri akseleineen
SSU	Azipodin akselilinjan huoltoyksikkö (Shaft line Support Unit)
Twin-skeg	Perän pohjan runkorakenne, jossa kaksi potkuria
ULCS	Yli 12 500 TEU:n konttialus (Ultra Large Container Ship)
Z-drive	Mekaaninen ruoripotkurijärjestelmä Z-akselistolla

## 1 JOHDANTO

Sähkötekniikan kehityksen myötä markkinoille on tullut erilaisia sähköllä toimivia propulsiolaitteita, kuten sähköinen ruoripotkuri, jota tämä työ käsittelee. Sähköisen ruoripotkurin valmistajia on ollut muutamia vuosien mittaan, mutta tässä työssä perehdytään ABB Oy:n Azipod -tuotemerkkiin, joka on tällä saralla ylivoimaisesti tunnetuin ja käytetyin.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on lisätä tietoa eri Azipod -malleista, laitteistoje kehityksestä, niiden käytöstä eri aluksissa ja niissä käytetystä tekniikasta. Työn pääpaino on laitteistossa ja teknisissä ratkaisuissa, jotka sijaitsevat Azipod -laitehuoneessa ja veden alla olevassa propulsioyksikössä.

Työn pohjana käytetty aineisto on hajanainen joukko laitevalmistajien julkaisemia tuote-esitteitä, aihetta sivuavia opinnäytetöitä ja alan lehtiä, sekä aiheeseen liittyvää kirjallisuutta.

## 2 SÄHKÖINEN RUORIPOTKURI

Sähköisellä ruoripotkurilla tarkoitetaan propulsiolaitetta, joka pystyy kääntymään portaattomasti 360 astetta molempiin suuntiin, korvaamaan näinerillisen peräsimen. Portaattoman ohjauksen ja pyörimisnopeuden ansiosta laivan ohjaaminen tapahtuu hyvin tarkasti. Voimansa laite saa nimensä mukaisesti sähkömoottorista, joka sijaitsee torpedomaisen kotelon sisällä, laivan pohjan alla. Niin ulkonäöltään kuin toimintaperiaatteeltaankin sähköinen ruoripotkuri muistuttaa tavallista sähköperämoottoria.

Sähkömoottori pyörittää kiinteälapaista potkuria, joka on kytketty samalle akselille sähkömoottorin kanssa. Mekaanisesta ruoripotkurista sähköinen eroaa juuri siinä, että voimansyöttöakseleita on ainoastaan yksi, kun taas mekaanisessa on vähintään kaksi kulmavaihteineen, joten se on rakenteeltaan yksinkertaisempi. Mekaanisessa mallissa sähkömoottori on asennettu laivan sisäpuolelle, joten se vaatii näin enemmän tilaa.

Propulsioyksikkö voidaan asentaa työntäväksi, jolloin potkuri on suunnattu taaksepäin, kuten perinteisissä potkuriratkaisuissa. Uudempi ja tehokkaampi tapa on suunnata potkuri eteenpäin, jolloin puhutaan vetävästä potkurista. Potkurin ollessa laitteen



etupuolella sen omat rakenteet eivät näin häiritse potkurille tulevaa veden virtausta. (ABB Oy 2007.)

Laitteiston rakenne vaihtelee jonkin verran riippuen valmistajasta ja mallista. Pääperiaatteet ovat kaikissa kuitenkin samat, riippumatta käyttötarkoituksesta. Ainoana poikkeuksena on Siemens-Schottelin valmistama eSIPOD-malli, jossa on kaksi potkuria, asennettuna sähkömoottorikotelon molempiin päihin. Joihinkin malleihin voidaan myös asentaa erillinen suulake, joka parantaa ohjattavuutta hitailla kierroksilla.

## 2.1 Sähköisen propulsioon historiaa

Sähköinen ruoripotkuri monimutkaisena laitteena on vaatinut monen teknisen alan kehitystä, mikä mahdollisti lopulta ensimmäisen prototyypin valmistamisen. Tärkeimpänä tekijänä voidaan pitää alusten sähköjärjestelmän kehittymistä, joka sai alkunsa 1800-luvun lopulla, kun saksalaiset ja venäläiset tekivät ensimmäisiä koeluontoisia testejä akuilla toimivalla sähköisellä potkurikäytöllä. Ensimmäinen sähkömoottoreilla toimiva alus oli venäläinen jokialus Vandal, joka valmistui 1903. Aluksessa oli kolme 87 kW:n tehoista generaattoria, jotka toimivat 500 voltin jännitteellä ja ne saivat voimansa kolmesta 89,5 kW:n tehoisesta moottorista (250 rpm). Sähköjärjestelmä oli tehoonsa nähden suhteellisen kookas ja massaltaan lähes samaa luokkaa dieselkoneiston kanssa. (Åsbrink, B. M/s Vandal - a historical ship. Internet-sivut.)

Ensimmäinen sähköisellä propulsiokoneistolla varustettu jäämurtaja oli ruotsalainen Ymer, joka toimitettiin vuonna 1932. Ymeristä saadut hyvät kokemukset saivat suomalaiset vakuuttuneiksi dieselsähköisen järjestelmän eduista, joten se otettiin käyttöön myös jäämurtaja Sisussa. Järjestelmässä oli kolme 1600-hevosvoimaista Atlas-dieselmoottoria, jotka pyörittivät Strömbergin generaattoreita, joista saatiin virta kolmelle Strömbergin potkurimoottorille. Ollen yhteisteholtaan 4500 hevosvoimaa. Jäänmurrossa todettiin olevan huomattava hyöty sähkömoottorien hyvistä nopeuden säätömahdollisuuksista ja niiden aikaansaamasta korkeasta vääntömomentista, koska potkureihin ajautuva jää aiheuttaa lisävastusta. (Shipping gazette. 2006.)

Myös matkustaja-aluksiin alettiin rakentaa sähköisiä järjestelmiä, mutta monissa näissä aluksissa dieselkoneen korvasi höyryturbiini. Yksi tällaisista aluksista oli S/S Normandie, joka laskettiin vesille vuonna 1932. S/S Normandie oli 313 metriä pitkä ja

bruttovetoisuudeltaan 79 280 tonnia, mikä tuohon aikaan tarkoitti todellista jättiläistä. Aluksessa oli neljä höyryturbiinia yhdistettynä generaattoreihin, joista saatiin tehoa irti 160 000 hevosvoimaa. Laivassa oli neljä potkuria, joita pyöritti sama määrä 29 MW:n tahtimoottoreita. (Ocean-liners.com. SS Normandie. Internet-sivut.)

Sähköisen propulsioon hyvistä puolista huolimatta sen kalliimpi hinta ja dieselkoneiden kehittyminen aiheuttivat käytännössä katsoen sen, että sähköiset propulsiolaitteet katosivat kaupallisesta liikenteestä 1900-luvun puolivälistä aina 1980-luvulle asti. Vasta 1970-luvun lopun kehitys tehoelektroniikassa mahdollisti niin sanotun voimalaitosperiaatteen hyödyntämisen propulsiokäytössä. Aikaisemmin laivakäytössä käytetyt erilliset tasavirtageneraattorit voitiin uuden tekniikan turvin korvata vaihtovirtageneraattoreilla. (Ådnanes 2003, 9.)

Voimalaitosperiaatteella toimivissa aluksissa on yksi sähköverkko, johon tietty määrä vaihtovirtageneraattoreita syöttää tasalaatuista sähköä pitäen taajuuden ja jännitteen muuttumattomana. Samaan verkkoon on kytketty niin potkurimoottorit, ns. hotellipuoli, kuin apulaitteetkin. Ensimmäiset alukset, jotka hyödynsivät tätä uutta tekniikkaa, olivat jäänmurtajia ja tutkimusaluksia. Ensimmäisten kaupallisten alusten joukossa oli risteilijä S/S Queen Elizabeth II, johon asennettiin jälkikäteen muutostyönä sähköinen propulsiokoneisto 1980-luvun puolessa välissä. Myöhemmin perässä seurasivat Fantasy- ja Princess-luokan risteilyalukset sekä monet erikoisalukset. (Ådnanes 2003, 9.)

Uuden tekniikan tullessa käyttöön yhä useammassa aluksessa alettiin jo miettiä uusia käyttökohteita sen hyödyntämiseen. Vuonna 1987 Merenkulkulaitos teki yhteistyöaloitteen Masa-Yards- ja ABB-yhtiöille uudenlaisen sähköisen propulsiolaitteen kehittämiseksi. Tämä käynnisti nykyään Azipod-nimellä tunnetun sähköisen ruoripotkurin kehittelyn. Vaikka ruoripotkurikonsepti oli tunnettu jo pitkältä ajalta, haluttiin sitä kehittää modernimpaan muotoon, jossa sähkömoottori olisi koteloitu aluksen pohjan alle. Ensimmäisiä Azipodiin liittyviä patenteja haettiin jo vuonna 1987. Kolme vuotta myöhemmin ensimmäinen Azipod-yksikkö asennettiin väylänhoitoalus Seiliin (kuva 1). Eri prototyyppialuksista saatujen erittäin hyvien kokemusten myötä kehitteilyä päätettiin jatkaa. Ensimmäiset matkustaja-aluksiin asennetut Azipod -yksiköt toimitettiin Fantasy -sarjan kahteen viimeiseen laivaan, m/s Elationiin ja m/s Paradiseen vuonna 1998. Koneiston hyötysuhde parani 9 % verrattuna sarjan edellisiin laivoihin, joissa oli perinteiset potkurilaitteet yhdistettynä sähkömoottoriin. (Ådnanes 2003, 9.)



Kuva 1. Ensimmäinen Azipod-yksikkö väylänhoitoalus Seilissä (ABB Marine Development of the Azipod System)

## 2.2 Sähköisten ruoripotkurien valmistajia

### 2.2.1 ABB Oy, Azipod

ABB Oy perustettiin vuonna 1988, kun ruotsalainen yritys Asea ja sveitsiläinen Brown Boveri yhdistyivät. ABB-yhtiön pääkonttori sijaitsee Sveitsissä. ABB työllistää reilut 130 000 henkilöä, yli sadassa maassa. Suomessa yhtiöllä työntekijöitä on noin 7000, yli 30 paikkakunnalla. (ABB Oy; ABB lyhyesti 2012.)

ABB:n suomalaiset juuret ulottuvat Strömberg-nimisenä yhtiönä 1880-luvulle. Ruotsalainen Asea osti Gottfrid Strömbergin perustaman sähkölaitteita valmistavan yrityksen, Strömberg Oy:n, 1980-luvulla. (ABB Oy; ABB lyhyesti 2012.)

ABB Marine & Cranes on emoyhtiön osa, joka valmistaa automaattioratkaisuja meriteollisuuden tarpeisiin. Maailmanlaajuisesti ABB Marine & Cranes työllistää 1000 henkilöä 19 eri maassa. Suomen yksikkö sijaitsee Helsingin Vuosaarella, jossa työskentelee 250 henkilöä. (ABB Oy; ABB lyhyesti 2012.)

Yksi yrityksen tunnetuimmista tuotteista on Azipod-ruoripotkurijärjestelmä, joita on toimitettu 230 yksikköä, 100 eri laivaan (huhtikuu 2012 tilanne). (ABB Oy; ABB lyhyesti 2012.)

### 2.2.2 Rolls-Royce, Mermaid

Rolls-Royce on brittiläinen tekniikan monialayhtiö, joka on erikoistunut lentokoneen moottoreihin, laivamoottoreihin ja laitteisiin. Yhtiöllä on maailmanlaajuisesti 40 000 työntekijää 34 maassa. Suomessa yhtiö toimii nimellä Roll-Royce Oy AB, Raumalla ja Kokkolassa. (Rolls-Royce. Propulsors. Internet-sivut.)

Meriteollisuudessa, Rolls-Royce tunnetaan parhaiten Kamewa -tuotemerkillä. Mekaaninen ruoripotkurijärjestelmä Aquamaster-järjestelmä joka on suomalaisen Hollming Oy:n kehittämä tuotemerkki, siirtyi monen yrityskaupan ja siirron kautta Rolls-Roycen omistukseen. Yhtiöllä on myös oma sähköinen ruoripotkurikonsepti Mermaid, joka on kehitetty yhdessä Alstom -yhtiön kanssa. (Tekes, Tammiaho 2009.)

Mermaid -järjestelmiä asennettiin jonkin verran 2000-luvun alkupuolella, mutta niissä ilmenneitten laatuun liittyvien ongelmien takia niiden valmistus lopetettiin joksikin aikaa. Muutaman vuoden hiljaiselon jälkeen niitä on taas otettu käyttöön uudisrakennuksissa. (Malinen 2011.)

### 2.2.3 Siemens-Schottel, SSP/eSIPOD

Siemens-Schottel on Siemens Marine Solutionin ja Schottel GmbH:n yhtenliittymä, joka valmistaa laivojen ruoripotkurijärjestelmiä. Yhtiön tuotemerkki tunnetaan nimellä Siemens-Schottel-Propulsor eli SSP. Yksiköitä yhtiö on toimittanut toistaiseksi vain muutamia ja mallivalikoimakaan ei ole kovin laaja. (Siemens. 2010 Internet-sivut.)

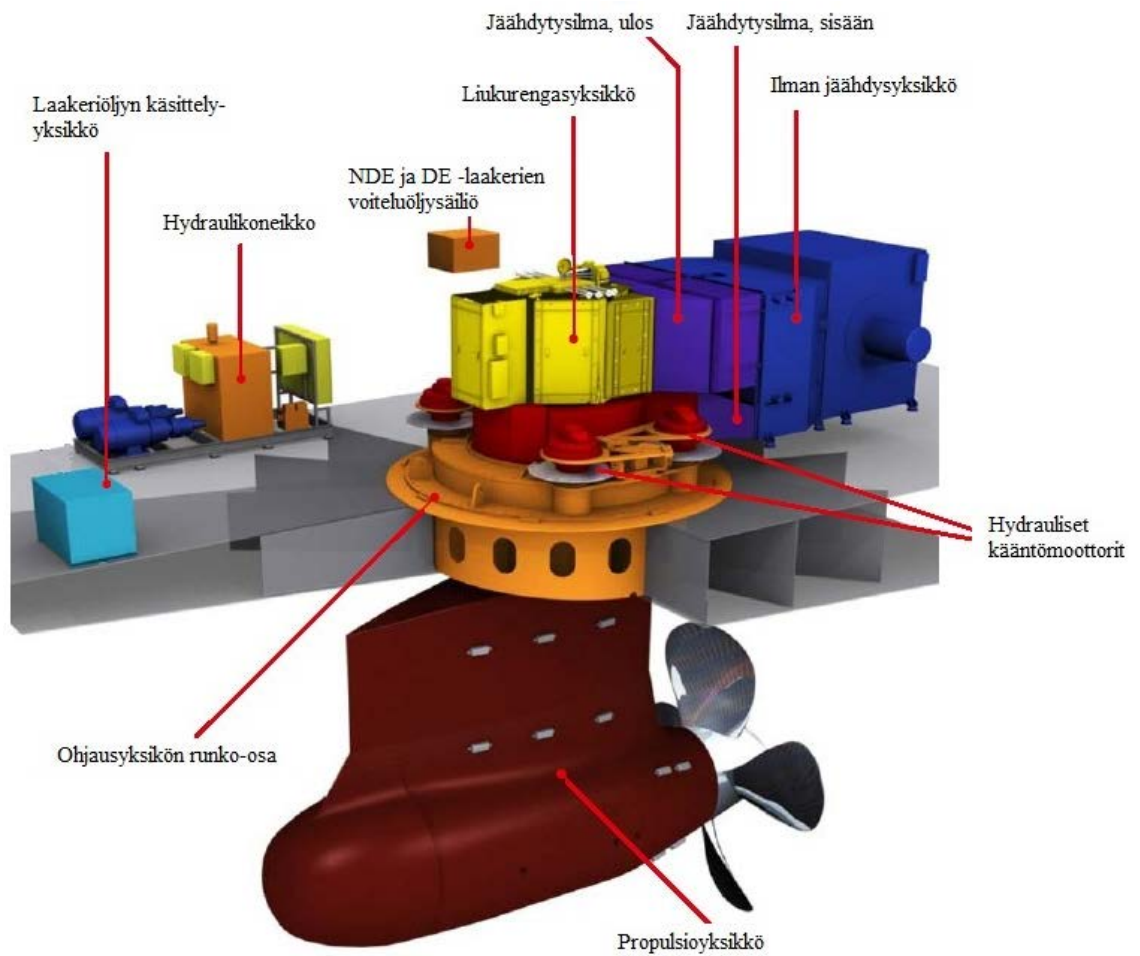
### 2.2.4 SAM Electronics ja Wärtsilä, Dolphin

Sähköisiin järjestelmiin erikoistunut SAM Electronics ja laivojen koneistoja valmistava Wärtsilä kehittivät yhteistyössä Dolphin podded propulsion-nimisen sähköisen ruoripotkurilaitteen. Ensimmäiset ja samalla ainoat kaksi 7 MW:n yksikköä asennettiin Seven Seas Voyager -risteilyalukseen vuonna 2003. Tämän jälkeen kyseisiä laitteita ei ole muihin aluksiin asennettu. (SAM Electronics 2004.)

### 3 AZIPOD-KONEISTON ESITTELY

#### 3.1 Laitteiston rakenne

Sähköisen ruoripotkurin koneiston rakenne riippuu valmistajasta, mallista ja kokoluokasta, mutta toimintaperiaate ja yleiset vaatimukset ovat jokseenkin samat. Referenssimalliksi sopii hyvin ABB:n Azipodin V -sarja (ks. kuva 2), jossa on lukuisia eri tehovaihtoehtoja, ja se on samalla käytetyin malli maailmassa.

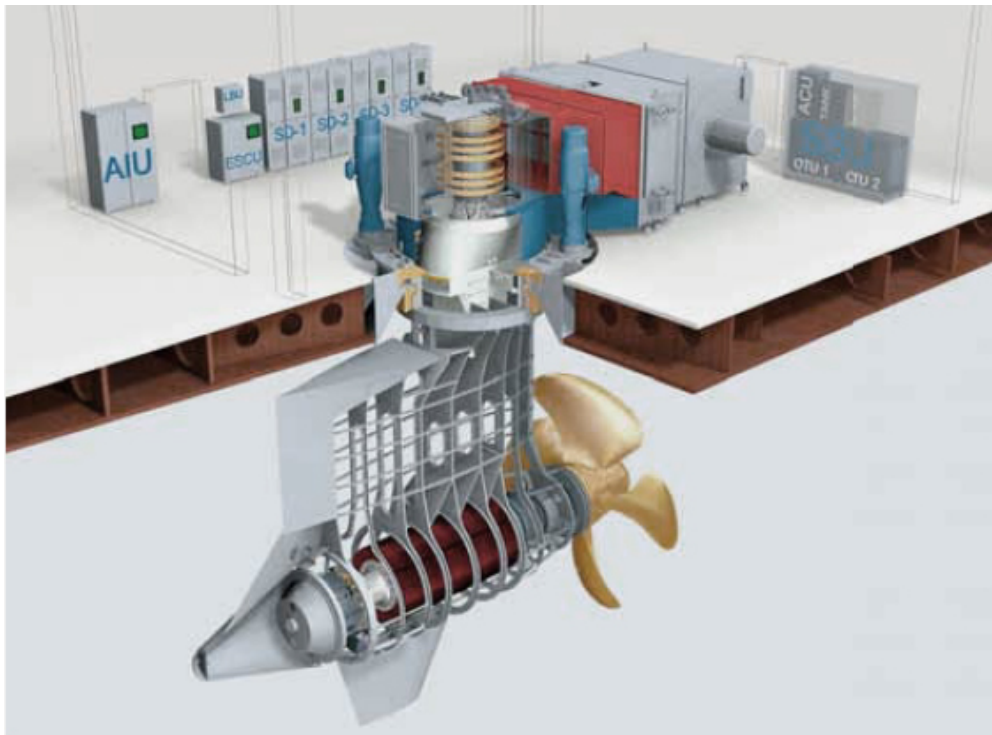


Kuva 2. Azipod V - sarjan rakenne ja koneisto (ABB Azipod VI Series Product Introduction 2010, 13, muokattu)

### 3.1.1 Propulsioyksikön runko

Azipodin runko valmistetaan korroosionkestävästä ja lujasta valuteräksestä. Tarvittava jäykkyys ja kestävyys saadaan aikaan tukikaarten avulla, lentokoneen siiven tapaan (ks. kuva 3 ). Valetut osat yhdistetään hitsaamalla, minkä jälkeen erityistä tarkkuutta vaativat kohdat koneistetaan lopullisiin mittoihinsa. (Varis 2009.)

Rungon tulee olla ehdottoman tiivis ja sen tulee kestää laivan kulun aiheuttamat dynaamiset rasitukset sekä moottorin aiheuttamat kuormat vaikeimmissakin tilanteissa. Jäissä ajoon tarkoitetut mallit ovat vielä erikseen jäävahvistettuja, sillä jäissä ajo aiheuttaa huomattavia lisärasituksia runko-osalle. Hydrodynaamisesti edullinen, torpedo-mainen muotoilu vähentää rasituksia itse rungossa, mutta myös ohjausyksikössä ja kääntömoottoreissa. Virtaviivainen muoto on luonnollisesti tärkeä seikka tehokkuuden kannalta, koska se suoraan vaikuttaa polttoaineen kulutukseen. (Varis 2009.)



Kuva 3 Azipodin runkorakenne (Varis 2009)

### 3.1.2 Propulsiomoottori

Propulsiomoottorina olevat sähkömoottorit ovat tyypiltään kestomagneettimoottoreita, tahtimoottoreita tai epätahtimoottoreita. Isomman kokoluokan eli yli 6 megawatin moottorit ovat tavallisesti tahtimoottoreita. Niiden hyvinä puolina on korkea vääntömomentti ja epätahtimoottoreihin verrattuna pienemmät sähköiset häviöt. (Häkkinen 2006.)

Kestomagneettimoottoreita käytetään pienemmissä, alle 6 megawatin yksiköissä. Kestomagneettimoottori on lämmöntuotoltaan sen verran alhaisempi, ettei erillistä ilmajäähdytystä tarvita, vaan ohitse virtaava vesi tarjoaa riittävän jäähdytyksen. Tästä syystä laitteen fyysinen koko pienenee ja rakenne on yksinkertaisempi, koska ilmanvaihtokanavointia ei ole. (ABB Marine. 2010. Azipod CO Product Introduction.)

### 3.1.3 Laakerointi

Sähkömoottori on laakeroitu tavallisesti kahdella laakeriyksiköllä, jotka ovat NDE (non-drive-end) -painelaakeri ja DE (drive-end) -vierintälaakeri (ks. kuva 5). Laakerit ovat tavallisesti pallomaisia rullalaakereita, jotka saavat voitelun omasta öljysäiliöstä, lukuun ottamatta pieniä yksiköitä (Azipod C -sarja), joissa käytetään rasvavoideltuja sylinterimäisiä rullalaakereita. Käytössä on myös hybridilaakereita, joissa on yhdistetty radiaalinen rullalaakeri ja paineliukulaakeri. (ABB Marine Azipod VI Series Product Introduction 2010.)

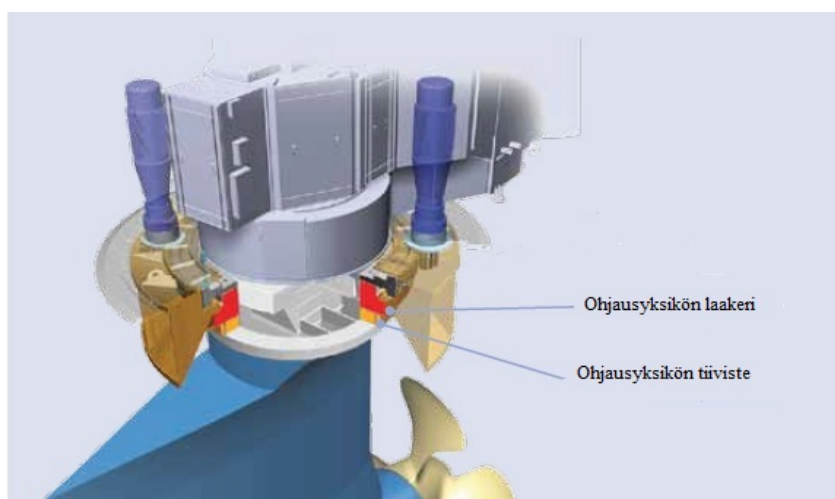
NDE -laakeriyksikön on tarkoitus ottaa vastaan potkurin työntövoiman aiheuttamat voimat ja toimia radiaalilaakerina akselin toisessa päässä. DE -laakeriyksikkö, joka on lähimpänä potkuria, toimii potkuriakselin kannatuslaakerina. Laakerien mitoitus ja tyyppi on riippuvainen siitä, onko kyseessä normaalitilanteessa vetäväksi vai työntäväksi suunniteltu malli. (ABB Marine Azipod VI Series Product Introduction 2010.)

Ohjauksen laakerointi sijaitsee ohjausyksikössä ja se on samaa rullalaakerityyppiä, kuin mitä käytetään kaivinkoneiden kääntökehässä. Se on kriittisin laakeri koko järjestelmässä, koska se kannattelee koko pyörivää propulsioyksikköä. Tämän laakerin rikkoutuminen tarkoittaa ohjauskyvyn menettämistä, mikäli laivassa on vain yksi potkuriyksikkö, joten sen kunnon seuranta on tärkeää. (ABB Marine Azipod VI Series Product Introduction 2010.)

### 3.1.4 Tiivisteet

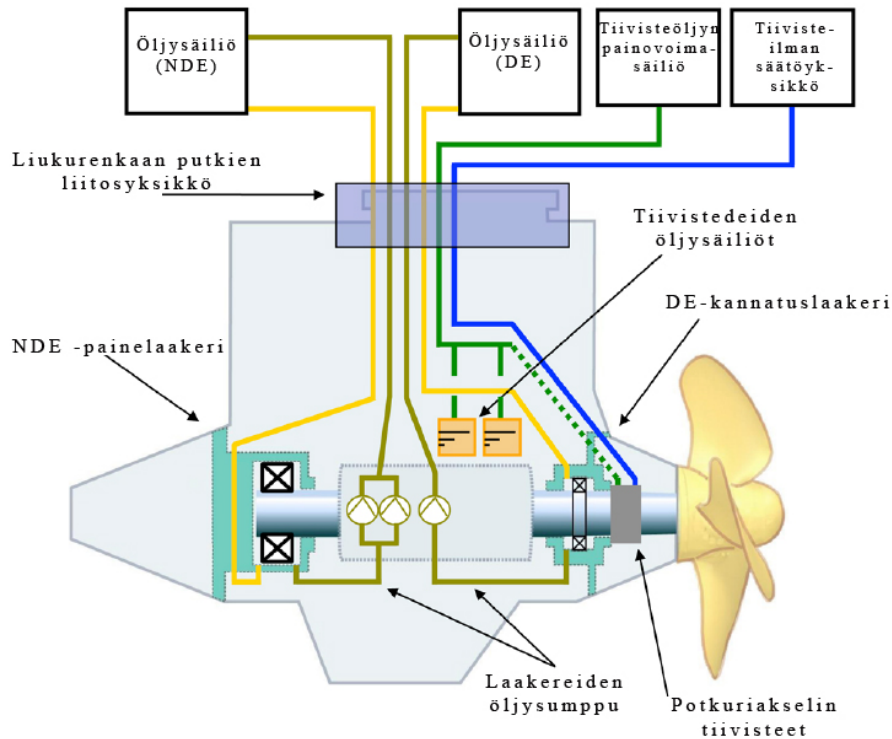
Potkuriakselin tiivistykseen käytetään huulitiivisteitä, jotka ovat samantyyppisiä kuin niin sanotut Simplex -tyypin tiivisteet, joita käytetään mm. perinteisissä hylsä- ja potkuriakseliratkaisuissa. Tiivisteet sijaitsevat potkurin ja potkurin kannatuslaakerin välissä (ks. kuva 5). Ne ovat tavallisesti öljyvoideltuja, mutta joissain malleissa, kuten Compact Azipod, uloin tiiviste saa tarvittavan voitelun merivedestä. Tiivisteitä on useampi peräkkäin ja niiden välissä on öljytila. Viimeisen öljyllä voidellun tiivisteiden ja meriveden välillä on ilmalla paineistettu kammio, joka estää öljyn vuotamisen mereen ja meriveden pääsyn podiin. Ilmanpaine säätyy laivan syvyyksen mukaan, eli kun syväys kasvaa, niin samalla painetta nostetaan ilmakammiossa ja päinvastoin. Öljynä käytetään tavallisesti biohajoavaa tyyppiä, joten mahdollinen vuotokaan ei aiheuta ympäristölle merkittävää haittaa. (ABB Marine Azipod VI Series Product Introduction 2010.)

Yksi tärkeimmistä ja kriittisimmistä tiivisteistä sijaitsee ohjausyksikössä (kuva 4). Ohjausyksikön tiivisteiden tarkoitus on tiivistää propulsioyksikön ja laivan rungon välinen rajapinta. Tiivisteiden rikkoutuminen voi tarkoittaa sitä, että vesi pääsee vuotamaan laivaan ja ohjauslaakeriin. Tämän takia joissain malleissa on erillinen paineilmatoiminen hätätiiviste. (ABB Marine Azipod VI Series Product Introduction 2010.)



Kuva 4. Ohjausyksikön tiivistys ja laakerointi (ABB Azipod XO 2100 Product Introduction 2009, 12, muokattu)





Kuva 5. Propulsioyksikön tiivistyksen ja laakeroinnin voitelujärjestelmä (ABB Marine Azipod VI Series Product Introduction 2010, 23, muokattu)

### 3.1.5 Liukurengasyksikkö

Johtuen propulsioyksikön 360 asteen kääntömahdollisuudesta podiin ei voida suoraan vetää johtoja ja putkia, koska ne sotkeutuisivat ja rikkoutuisivat Tätä varten laitteessa on erillinen liukurengasyksikkö, jota kautta moottori saa tarvitsemansa virran (ks. kuva 6). Tehonviennin lisäksi liukurengasyksikön kautta viedään myös datakaapelit, ilmaputket, laakeri- ja tiivisteöljyputket sekä mahdollinen jäähdytysilma.

Sähkön vienti tapahtuu liukurenkaiden välityksellä, joiden määrä riippuu potkurimootorin kytkennöistä. Sähkö siirretään kuparisille liukurenkaille koskettimien välityksellä, jotka painautuvat renkaita vasten. Datakaapeleille on omat kullatut liukurenkaat, jotka sijaitsevat erillisessä EMC -suojatussa kotelossa. Valokuitukaapeleiden kanssa käytetään niitä varten tarkoitettuja pyöriä liitoskappaleita

Öljy ja ilmaputket viedään erillisen pyörivän liitosyksikön (fluid swivel) kautta, joka on niin ikään integroitu liukurenkaan yhteyteen.



Kuva 6. Azipodin pääliukurengasyksikkö (Cavotec; Marine Propulsion Sliprings 2007, muokattu)

### 3.1.6 Kääntömoottorit

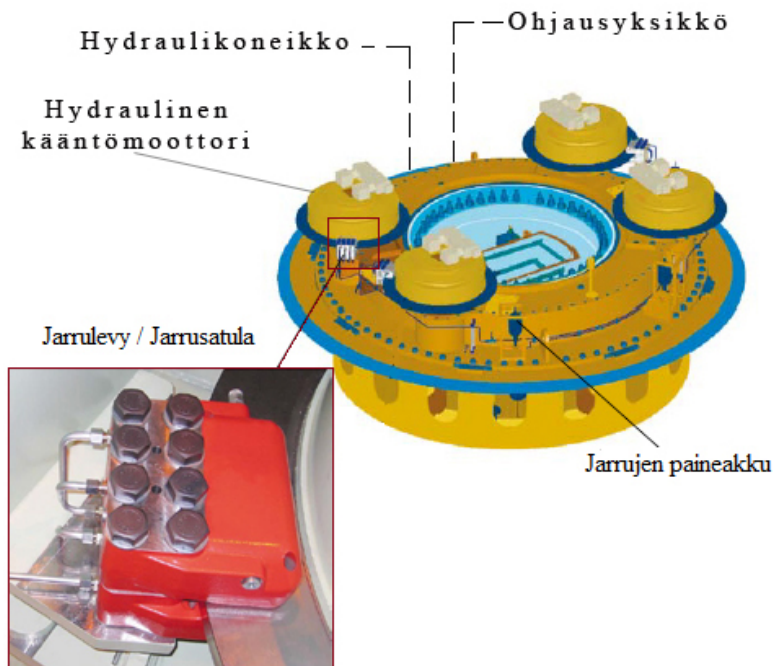
Kääntömoottorit toimivat laivan ohjausmoottoreina kääntäen propulsioyksikön haluttuun suuntaan (ks. kuva 2). Moottorit ovat tavallisesti hydraulisia, mutta uusimmissa malleissa (Azipod X- ja C-sarja) ne ovat sähkötoimisia. Mutta niistä enemmän tuonempana.

Moottoreilta vaaditaan korkean vääntömomentin tuottoa ja varmatoimisuutta, joten hydraulimoottori sopii hyvin tähän tarkoitukseen. Moottoreita kääntöjärjestelmässä on tavallisesti 2 - 6 kappaletta, mikä takaa ohjattavuuden säilymisen vaikka yksi vaurioituisikin. Moottoreiden voima välitetään kääntyvälle propulsioyksikölle hammasrattaiden välityksellä, joiden vastinhammastus on hammaskehässä. Poiskytketty tai vaurioitunut moottori menee vapaan pyörimisen tilaan, jottei synny niin sanottua hydraulista lukkoa, joka jumittaisi ohjauksen.

### 3.1.7 Ohjauksen jarrujärjestelmä

Kääntömoottoreissa on integroituna jarrukoneisto, joka pitää sisällään jarrulevyn ja jarrusatulan kitkapaloineen. Jokaisessa moottorissa on omat erilliset jarrut, jotka ovat osa jarrujärjestelmää. Se voi olla joko pneumaattinen tai hydraulitoiminen (ks. kuva 7), joka on uudempi ja tehokkaampi. Laitteisto sisältää myös hydraulikoneikon, ohjausyksikön ja moottorikohtaiset paineakut. Itse jarrujärjestelmä on jaettu kahteen eroteltuun systeemiin ja se on näin vähemmän vikaantumisherkkä.

Jarrujen tarkoitus on lukita Azipod paikoilleen, mikäli ohjaus jostain syystä menetetään; tämä estää podin hallitsemattoman liikkeen. Jarrujen ollessa kytkettynä ohjaus on silti mahdollista. Jarruja käytetään myös silloin, kun halutaan tehdä laitteiston huoltotoimenpiteitä, joissa propulsioyksikkö pitää saada liikkumattomaksi. (ABB Steering Brake Modernization 2011)

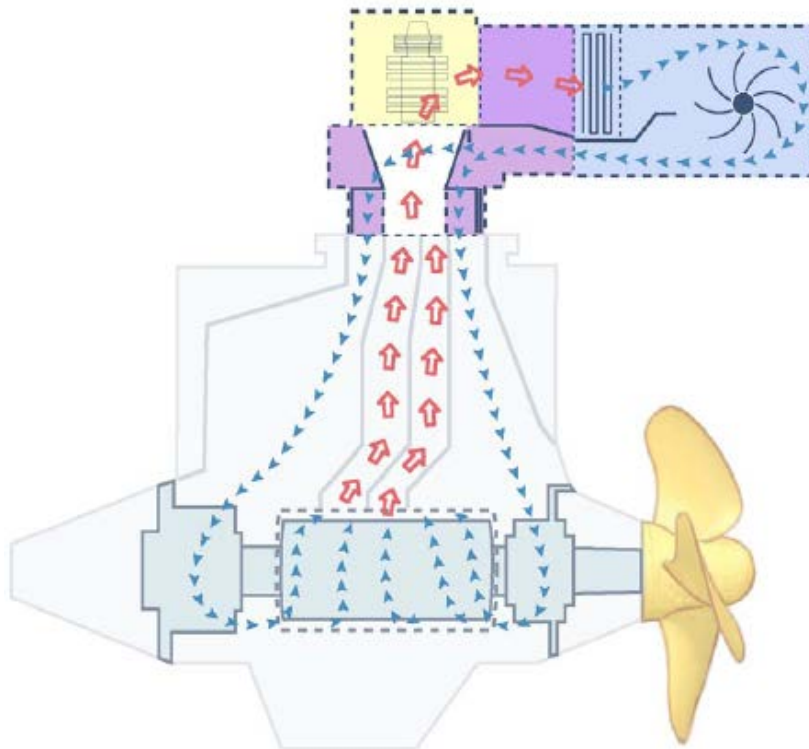


Kuva 7. Kääntömoottorit ja hydraulinen jarrujärjestelmä (ABB Steering Brake Modernization 2011, muokattu)

### 3.1.8 Ilman jäädytysyksikkö

Pieni osa propulsiomootoreiden ottamasta tehosta muuttuu lämpöhäviöiksi, mikä tarkoittaa yksikön ylikuumentumista, mikäli syntyvää lämpöä ei poisteta. Joissakin mal- leissa moottorien lämmöntuotto on sen verran vähäistä, että ympäröivä merivesi riittää jäädyttämiseen. Isommissa vierasmagnetoiduissa moottoreissa joudutaan käyttämään erillistä ilmajäädytystä (ks. kuva 8).

Jäädytysilman kierrättämiseen käytetään keskipakopuhaltimia, joita on tavallisesti kaksi kappaletta. Ilma johdetaan kanavia pitkin moottorin molempiin päihin, josta se kulkeutuu aksiaalisesti staattorin käämien vierestä kohti moottorin keskiosaa ja pois- tuu moottorista kääntöyksikön kautta radiaalisesti. Oikea ilman kiertosuunta varmiste- taan ohjauspelleillä, jotka aukeavat paineen vaikutuksesta ja sulkeutuvat painovoimai- sesti. Ilman lämpötila nousee moottorin jälkeen 20 - 30 astetta ja se pitää jäädyttää takaisen alkuperäiseen lämpötilaansa. Tämä tapahtuu LT -vesikiertoisissa lämmön- vaihtimissa, joita jäädytysyksikössä on kahdesta neljään kappaletta. Mahdolliset hai- talliset ilmassa olevat partikkelit poistetaan suodattimilla, joita on ennen lämmönvai- hainta ja puhaltimien jälkeen. (Kekki 2012, 26 – 28.)



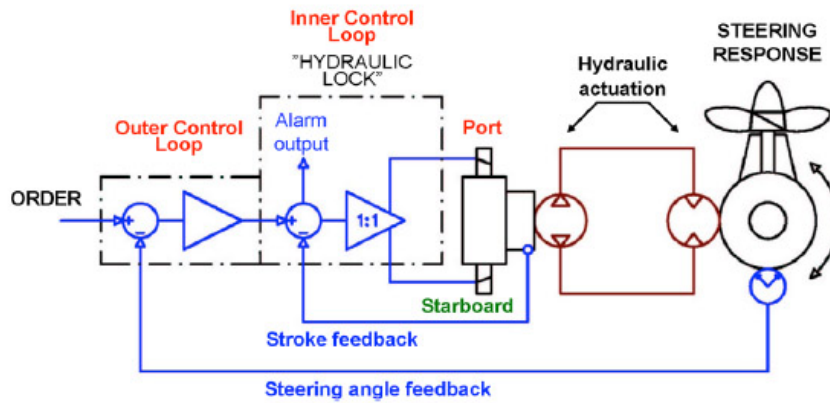
Kuva 8. Jäädytysilman kierto (ABB Azipod VI Series Product Introduction 2010, 22)

### 3.2 Järjestelmän operointi

Azipod-yksikön hydraulisen ohjausjärjestelmän tekniikka on alunperin kehitetty perinteisestä hydraulisesta ruorikoneistosta, joten se toiminnaltaan muistuttaa paljon edeltäjänsä. Servo-ohjatut hydraulipumput tuottavat tarvittavan öljynpaineen, joka syötetään ohjausmoottoreille proportionaaliohjausperiaatteella (ks. kuva 9). Komentosillalta annettu ruorikulmakäsky saa ohjausmoottorin pyörimään joko oikeaan tai vasempaan suuntaa, riippuen annetusta ohjauskulmasta. Moottorit kääntävät propulsioyksikköä niin kauan, kun haluttu kulma on saavutettu. Mikäli annettu kulma ylittää 180 astetta, on järjestelmä suunniteltu niin, että se valitsee aina lyhyimmän reitin. Ohjausnopeus taas riippuu siitä käytetäänkö yhtä vai kahta pumppua. Yhdellä pumpulla operoitaessa yksikkö kääntyy 2,5 astetta sekunnissa, jota käytetään tavallisesti avomereillä ja jääolosuhteissa. Molempien pumppujen samanaikainen käyttö kaksinkertaistaa ohjausnopeuden, jota tarvitaan muun muassa satamaan tultaessa. Hätätilanteita varten, jolloin komentosillan ohjaus jostain syystä menetetään, on oma hätäohjausjärjestelmä, joka sijaitsee tavallisesti samassa tilassa ohjausyksikön kanssa.

Ohjauskomennot annetaan komentosillalla sijaitsevalla Azimuth-kahvalla, jossa on samassa ohjaus ja potkurin pyörimisnopeuden säätö. Azipodia voi myös ohjata perinteisellä ruorilla, automaatilla tai voidaan käyttää joystick -ohjausta. Konevalvomossa on tavallisesti vain pelkästään RPM-kahva.

Ohjaussignaali välitetään kahvasta laitehuoneessa olevalle ohjausyksikölle, joka puolestaan ohjaa servojärjestelmää ja tarkkailee todellista ruorikulmaa. Ohjauskomennot välitetään kahdella epälineaarilla tasajännitesignaalilla eli pää – ja apusignaalilla, jotka ovat sini- ja cosinin-muotoiset. Jännitteen arvo vaihtelee -10V... 0 ...+10V välissä, eli tietty jännite tarkoittaa tietyn suuruista ohjauskulmaa. Potkurin kierrosnopeuden säätöön käytetään taas virtasignaalia. Virtasignaali on lineaarinen, joka on 4 – 20 mA, jossa esimerkiksi 4 mA on täysillä taakse, 12 mA on seis ja 20 mA on täysillä eteenpäin. Alle 4 mA:n ja yli 20 mA:n signaali tarkoittaa häiriötä yhteydessä ja ne puolestaan jäävät noteeraamatta. (ABB Marine Azipod VI Series Product Introduction 2010)



Kuva 9. Hydraulisen ohjauksen toimintaperiaate (ABB Azipod VI Series Product Introduction 2010, 19)

#### 4 DIESELSÄHKÖINEN KONEHUONE

Puhuttaessa sähköisestä ruoripotkurista tai mistä tahansa sähköisestä propulsiolaitteesta on syytä huomioida, että ne ovat osa laivan konehuoneen sähköistä kokonaisratkaisua. Usein käytetäänkin termiä dieselsähköinen konehuone tai voimalaitosperiaatteella toimiva konehuone. Generaattorien pyörittämiseen tarvittava teho tuotetaan usein dieselmootoreilla, tavallisesti keski- ja/tai nopeakäyntisillä malleilla. Kaasuturbiinia ja höyryturbiinia voidaan myös käyttää, mutta nämä sovellukset ovat harvinaisempia tämän päivän kaupallisessa liikenteessä. Tulevaisuudessa moottoreiden tarvittava teho voidaan mahdollisesti tuottaa myös polttokennoilla, kunhan niiden tekninen kehitys ja hinta yltyvät tasolle, joka mahdollistaa niiden käytön laivoissa. Kuitenkin yleisin valinta on keskinopean dieselmootorin ja generaattorin yhdistelmä, varsinkin isomman kokoluokan aluksissa.

Uutta laivaa suunniteltaessa ensimmäisten asioiden joukossa on sopivan propulsio- ja koneiston valinta. Valintaan vaikuttavia tekijöitä on useita, mutta tärkeimpiä ovat aluksen mitat, käyttötarkoitus, nopeus, liikennealue, lastitilat ja kustannukset. Riippumatta siitä valitaanko mekaaninen vai sähköinen propulsiolaitteisto, joudutaan tekemään sähköbilanssilaskelmat, eli arvioidaan eri laitteistojen sähkön kulutus eri ajotilanteissa (Häkkinen 2007b, 67-69). Laskelmat määrittävät tulevan sähköenergian tarpeen ja näin vaatimukset koneistolta huomioiden luokituslaitoksen asettamat vaatimukset laitteiston redundanttisuudesta ja turvamarginaaleista. Dieselsähköisessä ratkaisussa joudutaan ottamaan huomioon myös potkurimoottoreiden tarvitsema teho,

joka lähes poikkeuksetta on suurin yksittäinen kuluttaja laivan ollessa liikkeessä. (Häkkinen 2007, 114-117.)

Generaattoreilta ei voida suoraan ottaa tehoa potkurimoottoreille, vaan välissä pitää olla sopivat muuntajat sekä potkurimoottorin pyörimisnopeuden säätöyksikkö. Kaikilla laitteilla, dieselmoottorista potkuriin, on oma hyötysuhteensa, jotka vaikuttavat laitteiston kokonaistehokkuuteen. Mekaanisen energian muuttaminen sähköiseen muotoon tarkoittaa luonnollisesti hyötysuhteen alenemista, mutta toisaalta se voi tuoda monia rakennusteknisiä etuja, kuten tilansäästöä ja usein yksinkertaisempia rakenteita. (Häkkinen 2007a, 87-89)

#### 4.1 Dieselsähköisen konehuoneen valinta

Tekijät, jotka puoltavat dieselsähköisen konehuoneen valintaa uudisrakennukseen tai mahdollisen mekaanisen konehuoneen konvertoimista sähköiseksi, riippuvat luonnollisesti täysin aluksesta, ajoprofiilista ja teknisistä seikoista.

Esimerkiksi risteilijässä valinta on huomattavasti selkeämpi kuin vaikkapa isossa rahtilaivassa. Risteilijältä vaaditaan hyvää ohjailukykyä ahtaiden vierassatamien takia, joten sähköinen ruoripotkuri on oikea valinta pelkästään hyvän ohjailukykyyn ansiosta. Matkustajaosasto risteilijässä on itsessään suuri kuluttaja, jolloin satamassakin oltaessa tarvitaan paljon generaattoritehoa, joten erillisiä apukoneita ei kannata rakentaa. Järkevin tapa on asentaa useampi iso dieselgeneraattoriyksikkö, jotka ovat tehoiltaan hieman eri kokoa ja niillä pystytään tarkemmin optimoimaan koneiden käyttö eri kuormitustilanteissa.

Isossa rahtilaivassa tilanne ei olekaan yhtä selkeä. Yleensä yhdellä hitaalla dieselmoottorilla ja perinteisellä akselijohdolla varustettu alus, joka on suurimman osan ajasta matkalla ajaen täydellä nopeudella, on tällä hetkellä polttoainetaloudellisesti paras vaihtoehto. Satamissakin käydään sen verran harvoin, että ohjailukyky ei ole niin merkittävä tekijä. Tosin aluskoon vielä kasvaessa potkuria ei voida järkevällä tavalla enää kasvattaa valmistusteknisten sekä hydrodynaamisten seikkojen takia. Saattaa kysymykseen tulla CRP Azipod – tyyppinen ratkaisu. CRP eli Contra-Rotating Propeller (ks. luku 6.5) on järjestelmä, jossa on nimensä mukaisesti kaksi vastakkain pyörivää potkuria, joista toinen on perinteisen akselijohdon päässä ja toinen potkuri on Azipod-yksikössä. (Ämmälä 2003)

## 4.2 Dieselsähköisen konehuoneen tuomat edut

Dieselsähköisellä konehuoneella saavutetaan monia etuja, joista merkittävimpiä ovat seuraavat:

- Koneiston vapaampi sijoittelu konehuoneeseen, tosin isot dieselgeneraattorit joudutaan sijoittamaan usein painonsa takia huomattavasti rajoitetummin kuin pienemmät.
- Erillisiä apukoneita ei tarvita, koska pääkoneilla tuotetaan kaikki aluksen tarvitsema sähkö (kuva 10).
- Koneiden optimaalisempi käyttö, eli voidaan valita kuormitustilanteen mukaan sopiva määrä koneita, jolloin koneet toimivat mahdollisimman lähellä suunniteltua kuormitusalueetta (MCR), jolloin ominaiskulutus on pienimmillään.
- Päästöjen pieneneminen, kun voidaan ajaa lähellä koneiden optimialuetta.
- Järjestelmän redundanttisuus, kun aluksessa on useampi dieselgeneraattori, joten esimerkiksi yksi generaattori voi olla huollossa ajon aikana.
- Dieselgeneraattorit voidaan asentaa joustavasti, jolloin pääkoneiden aiheuttamat värähtelyt eivät siirry aluksen runkoon aiheuttaen meluhaittaa.
- Ruoripotkurilla aluksen parempi ohjailukyky ja erikoisaluksissa dynaamisen paikannuksen mahdollistaminen.
- Potkurin pyörimisnopeuden tehokas ja portaaton säätö taajuusmuuttajalla kaikissa kuormitustilanteissa.
- Yksinkertaisempi perän rakenne: ei ole erillistä peräsintä eikä erillistä ohjailupotkureita perässä tarvita. (Häkkinen 2007a, 87-89 )

## 4.3 Dieselsähköisen konehuoneen negatiiviset puolet

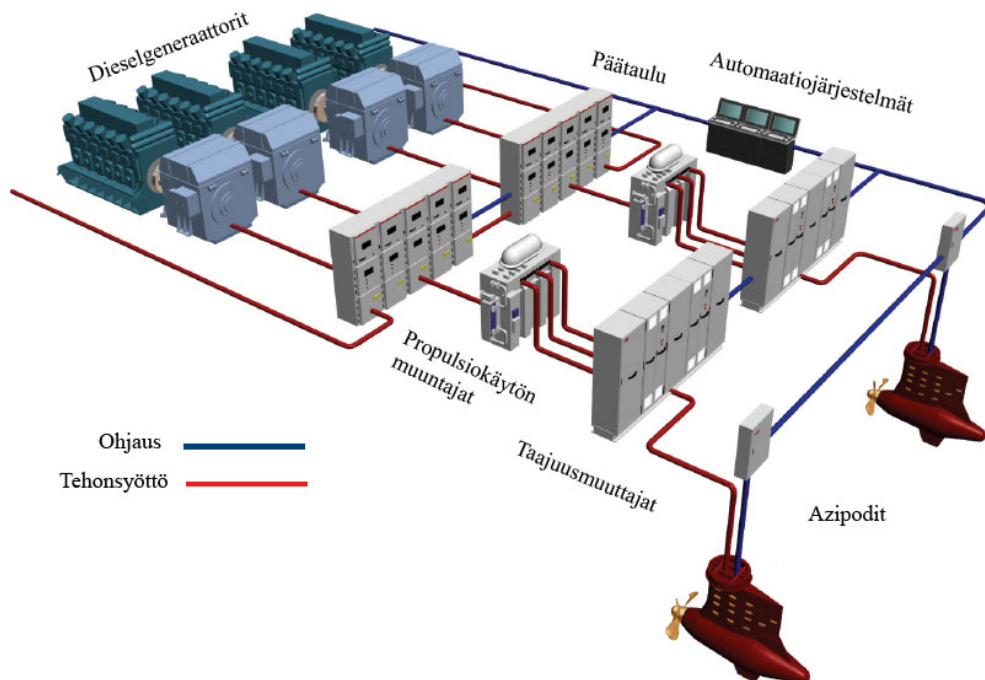
Vaikka dieselsähköisen järjestelmän hyviä puolia on monia, ovat niiden painoarvot usein vähäisempiä uudisrakennusta tilaavalle varustamolle suhteessa niiden negatiivisiin pidettyihin puoliin. Merkittävimpänä negatiivisena puolena ovat usein kalliimmat laitteistokustannukset, jotka ovat dieselsähköisessä aluksessa (jossa Azipodit) 10–30 % suuremmat, riippuen aluksen koosta ja tehoista. Nyrkkisääntönä on, että mitä tehokkaammasta laivasta on kyse, niin sitä pienempi on ero mekaanisen ja sähköisen järjestelmän välillä. (Karuranta 2004, 11)



Varustamot usein noudattavat hankinnoissaan suhteellisen konservatiivista linjaa, jota koneistoratkaisutkin myötäilevät. Valitaan usein se perinteinen jo pitkään markkinoilla ollut ja koeteltu systeemi, eikä mielellään lähdetä kokeilemaan ensimmäisten joukossa uusia ratkaisuja. Kyseinen mentaliteetti ei ainakaan edesauta nykyaikaisten sähköisten järjestelmien yleistymistä ja uusien referenssilaitatyyppien syntymistä, joita voitaisiin käyttää myöhemmin uusien laivojen suunnittelun pohjana.

Voi syntyä myös tilanne, jossa uudenlainen järjestelmä ei yksinkertaisesti sovi järkevästi suunniteltuun laivaan. Näin voi käydä esimerkiksi nopean Ropax - aluksen tapauksessa, jossa tarvittaisiin tehokkaat, ison kokoluokan Azipodit, mutta niiden tarvitseman laitehuoneen tila pystysuunnassa rajoittaisi peräportin maksimileveyttä ja siten hidastaisi lastin purkua. (Malinen 2011, 22-23)

Huonona puolena voidaan pitää myös huonompaa koneiston kokonaishyötysuhdetta mekaaniseen järjestelmään verrattuna. Mekaanisen energian konvertoiminen sähköksi ja sähköstä potkurimoottoreissa takaisin mekaaniseksi energiaksi, tarkoittaa laitteistosta riippuen noin 7-11 %:n häviötä nimellisteholla. Mekaanisessa akselijohdossa häviöt ovat 2 %:n luokkaa. (Häkkinen 2007a, 87)



Kuva 10. Dieselsähköisen konehuoneen periaatekuva (ABB Azipod XO 2012, 6, muokattu)

## 5 TALVIMERENKULKU JA AZIPOD

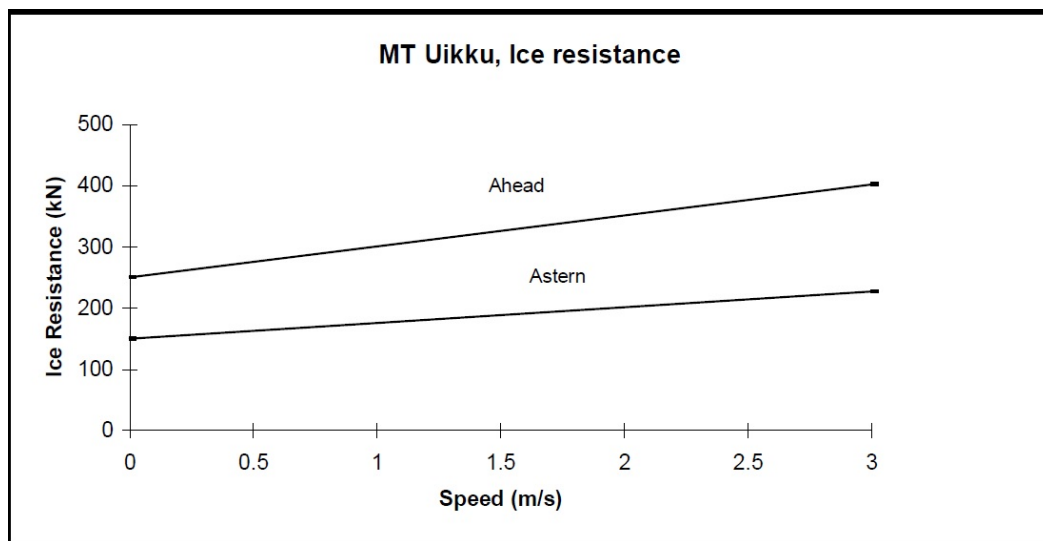
Suunniteltaessa jäissä kulkevia aluksia on propulsiolaitteiston valinta yksi keskeisistä osa-alueista, koska sillä on suuri vaikutus muun muassa aluksen rungon muotoon. Jäissä kulkemaan tarkoitetun aluksen runko on aina jollain tapaa kuitenkin kompromissi, jossa kilpailevat avoveden hydrodynaaminen tehokkuus ja jäissäkulkuominaisuudet. Keulan muodolla on ratkaiseva merkitys, siihen kuinka hyvin keula soveltuu jään murtamiseen. Perinteinen bulbimainen keula on hydrodynaamisessa mielessä tehokas avovesiolosuhteissa, mutta jäissä ajossa se on kaukana optimaalisesta. Niin sanottu jääkeula, joka on viistoksi muotoiltu, särkee jäätä huomattavasti tehokkaammin, mutta ei toimi taas niin hyvin avovedessä. Edellä mainittu tilanne oli ongelma vielä 1990-luvulle tultaessa, mutta vasta ruoripotkurilaitteiden kehitys loi mahdollisuuden suunnitella uudentyyppisiä ratkaisuja. (Juurmaa, Mattsson & Wilkman 1995.)

Ensimmäinen 1,5 MW:n Azipod -yksikkö asennettiin MV Seiliin, josta saatiin hyviä kokemuksia jäissä ajossa. Uusittu propulsiolaitteisto mahdollisti kulun kymmenen senttiä paksummassa jäässä (55 cm) entiseen verrattuna (45 cm). Huomattiin myös, että perä edellä ajamalla jäänmurtokyky parani edelleen viisi senttiä (60 cm), kun aikaisemmin jäätä ei voinut perä edellä murtaa ollenkaan, mikä johtui peräsimen sijainnista ja perän rakenteesta. (Juurmaa, Mattsson & Wilkman 1995.)

MV Seilistä saadut hyvät kokemukset perinteisen propulsiolaitteiston konversiosta Azipodiin johti siihen, että samaa päätettiin kokeilla Neste Shippingin säiliöalus Uikussa. Alukseen jouduttiin tekemään verrattain suuret muutostyöt perän runkorakenteeseen (kuva 12), jotta podiyksikkö saatiin asennettua aluksen pohjaan ja jotta tarvittavat apulaitteet saatiin sijoiteltua järkevästi. Aluksen koko vanha propulsiokoneisto (2 x MaK 5,7 MW) vaihdettiin samalla uusiin Wärtsilän dieselgeneraattoreihin (2 x 4,9 MW ja 1 x 1,9MW). Alukseen asennettu 11,4 MW:n podiyksikkö oli työntävää mallia ja se kääntyi ainoastaan 96 astetta molempiin suuntiin, mikä johtui liukurenkaiden asettamista rajoituksista, mutta se oli kuitenkin aivan riittävä laivan operoimiseen (Häkkinen 2000). Muutostöiden jälkeen laivan ohjailukyky parani merkittävästi, mutta huomattavin parannus tapahtui jäissä ajossa. Erikoisin piirre oli se, että vaikka laivan keula oli niin sanottua jäämallia ja laiva oli muutenkin suunniteltu talvimerenkulkua silmällä pitäen, niin kuitenkin perä edellä ajettaessa jäänvastus oli huomattavasti pienempi kuin eteenpäin ajettaessa (kuva 11). Mittauksissa havaittiin, että perä

edellä kuljettaessa vastus oli noin 40 % pienempi, vaikka laivan perää ei sen kummemmin ollut suunniteltu sitä varten. (Juurmaa, Mattsson & Wilkman 1995.)

Kokemukset olivat sen verran rohkaisevia, että Uikun sisaralukselle, MT Lunnille, päätettiin tehdä samanlaiset muutostyöt. Alukset eivät olleet kuitenkaan alkuaan suunniteltuja Azipod -ajoa varten, joten laivat olivat kuitenkin kompromissiratkaisuja siinä mielessä, että keula oli edelleen vähemmän optimaalinen avovesiolosuhteissa. Perän muotoilu oli taas perinteistä tankkialusmallia, joten jäissä perä edellä kulkeminen ei kuitenkaan ollut erityisen tehokasta siihen nähden, että alus voitaisiin muotoilla erityisesti perä edellä jäissä kulkeväksi. (Juurmaa, Mattsson & Wilkman 1995.)



Kuva 11. MT Uikun jäävastusvertailu eri päin kuljettaessa (Juurmaa, Mattsson & Wilkman 2001)



Kuva 12. MT Uikun propulsiokoneiston vaihto Azipodiin (ABB Development of the Azipod System, muokattu)

## 5.1 DAT- ja DAS-konsepti

Suomen talouden riippuvuus meritse tapahtuvasta laivaliikenteestä ja pitkä talvi, Itämeren vaikeine jääolosuhteineen, loivat tarpeen uudentyyppisen aluksen kehitykselle. Ensimmäiset Azipod - tankkerit Uikku ja Lunni osoittautuivat jäissä ajossa erittäin toimiviksi, mikä osaltaan johti uuden DAT-konseptin syntyyn. DAT-lyhenne tulee sanoista Double Acting Tanker eli kaksitoiminen tankkeri. Käytetään myös yleistävää termiä DAS (Double Acting Ship) eli kaksitoiminen alus. Konseptin kehitti silloinen Kvaerner Masa-Yards, joka nykyään tunnetaan Aker Arctic -nimellä, jossa muun muassa ABB Oy on osaomistajana. (Juurmaa, Mattsson & Wilkman 2001.)

Kaksitoimisen aluksen ideana oli yhdistää hyvät jäänmurto-ominaisuudet ja tehokas kulku avovedessä. Käytännön kokemukset pitkältä ajalta sekä jääkokeet pienoismalleilla osoittivat, että paras tapa yhdistää nämä ominaisuudet oli rakentaa alus, joka kulkisi jäissä perä edellä ja keula edellä avovedessä. Suunnittelun lähtökohtana oli, että aluksen tuli selvitä Itämeren ohella myös Pohjois-Venäjällä sijaitsevan Petšoranmeren kohtalaisen ankarissa jääoloissa. (Juurmaa, Mattsson & Wilkman 2001.)

Kaksitoimisuus vaati luonnollisesti perän lisäjäävahvistusta ja uudenlaista perän muotoilua, jotta Azipod -yksikkö saatiin sijoitettua mahdollisimman optimaalisesti. Tämä oli tärkeää siksi, koska koko konseptin idea perustui pitkälti juuri ruoripotkurin tuomiin etuihin. Suurimpana etuna oli hyvä ohjattavuus, koska ruoripotkurin tuottama virtaus voitiin tehokkaasti suunnata, toisin kuin perinteisellä peräsinratkaisulla, jossa yli 35 asteen ylitys ruorikulmassa ei juuri tehosta aluksen kääntyvyyttä. Toisena etuna oli podin tuoma avarampi perän rakenne, joka mahdollistaa jään tehokkaamman murskauksen, vähentää jään ja rungon välistä kitkaa. Jäälohkareiden aiheuttamat kuormitusvaihtelut eivät ole ongelma, sillä sähkömoottorikäyttö takaa tasaisen vääntömomentin kaikilla kierroslukualueilla. Suurin jään kitkaa pienentävä tekijä saadaan kuitenkin potkurivirtauksen aiheuttamasta rungon huuhteluefektistä, jossa vesi toimii ikään kuin voiteluaineena rungon ja jään välissä. Parhaimmillaan tällä saavutetaan jopa 50% pienempi jäänvastus. Ilmiöstä tiedettiin jo 1800-luvun lopussa, mutta ei tiedetty mikä sen sai aikaan. (Juurmaa, Mattsson & Wilkman 2001.)

### 5.1.1 MT Tempera

Ensimmäinen DAT -konseptin alus oli 252-metrinen ja 106 034 DWT:n MT Tempera (kuva 13), joka tilattiin vuonna 2001 ja toimitettiin 2002. Sen rakensi Japanin Yokosukassa, Sumitomo Heavy Industries Ltd. toimesta. Alus on jääluokaltaan 1A Super ja kykenee murtamaan metrin paksuista jäätä perä edellä kolmen solmun nopeudella. Avovedessä saavutetaan 15,2 solmun nopeus konseptin mukaisesti keula edellä.

Alukseen on asennettu, silloin kokoluokaltaan suurin jääluokitettu 16 MW:n VI -sarjan Azipod -yksikkö, joka kääntyy vapaasti 360 astetta molempiin suuntiin. Kiinteälapainen potkuri on halkaisijaltaan 7,8 metriä ja nimellispyörimisnopeus 86 r/min. Aluksessa on viisi Wärtsilän dieselgeneraattoria, yhteisteholtaan 21,7 MW, jotka syöttävät 6,6 kV (AC) ja 60 Hz jännitettä päätauluun sekä syklokonverterille, joka ohjaa tehoa potkurimoottorille. Aluksessa on myös kaksi keulapotkuria helpottamassa ohjailua satamassa, mikä on hiukan harvinaista tämän kokoluokan tankkereissa.

Redundanttisuuteen kiinnitettiin myös suunnittelussa paljon huomiota, koska konsepti oli uusi ja käytännön kokemukset verrattain vähäisiä. Kaikki kulun kannalta kriittiset johtimet on kahdennettu ja myös potkurimoottorin staattorin käämitys ja roottori mukaan lukien on niin ikään varmistettu kahdentamalla. Tämä on tärkeää aluksessa, jonka kulku on ainoastaan yhden podiyksikön varassa.



Kuva 13. MT Tempera jäätä murtaamassa (ABB Oy 2007)

### 5.1.2 Norilskiy Nickel

Ensimmäinen kaksitoiminen rahtialus oli 14 500 DWT:n MS Norilskiy Nickel, joka valmistui vuonna 2006 Hietalahden telakalta venäläisen kaivosyhtiö Norilsk Nickelin käyttöön (kuva 14). Se oli ensimmäinen viiden aluksen sarjasta, joista loput rakennettiin Aker Yardsin telakalla Saksassa. Alus on 169 metriä pitkä, 23,1 metriä leveä ja lastikapasiteetti on 648 standardikonttia. Aluksen liikennealue on Pohjois-Venäjällä sijaitseva Koillisväylä, joka tunnetaan erittäin haastavista jääolosuhteista talvella. Niinpä alus suunniteltiin siten, että se kykenee kulkemaan perä edellä 1,5 metrin jääsä, jossa on 20 sentin lumikerros päällä, säilyttäen tasaisen 2 solmun nopeuden. Avovedessä päästään parhaimmillaan 16,1 solmun nopeuteen.

Vaikeat olosuhteet vaativat paljon tietenkin myös koneistolta, joten alukseen asennettiin 13 MW:n VI -sarjan Azipod -yksikkö, joka aluksen kokoon nähden on suhteellisen suuri. Podiyksikköön on liitettynä halkaisijaltaan 5,6-metrinen potkuri. Propulsiomootorin toiminta on osaltaan varmistettu staattorin tuplakäämityksellä, joihin molempiin tulee oma erillinen syöttölinja. Aluksen pääkoneina toimii kolme Wärtsilän 12V32 dieselgeneraattoria, jotka tuottavat 18 MW:n yhteistehon.

Norilsk Nickelin sisaralus Monchegorsk oli ensimmäinen kaupallinen alus, joka purjehti Koillisväylän edestakaisin ilman jäänmurtaajien avustusta. Matka kesti 58 päivää, joista 41 päivänä ajoa, joka tapahtui 11,5 solmun keskinopeudella.



Kuva 14. Arktisiin olosuhteisiin suunniteltu Norilskiy Nickel (ABB Oy 2007)

## 5.2 Azipod jäänmurtaajissa

Azipod -potkurijärjestelmien kehityshistoria alkoi jäänmurtaajista ja juontaa juurensa jäänmurtaajien operointiongelmista. Jäänmurtaajakäyttöön valittiin alusta lähtien dieselmoottorin sijaan sähkömoottori, koska potkurin suuri vääntömomentti pienillä kierrosluvuilla on jääoperoinnissa tärkeä ominaisuus.

Suurimpia ongelmia oli jäänmurtaajan ns. rännistä murtautuminen. Kun laivat kulkevat samaa reittiä jäisellä merellä, muodostuu ränni, jota pitkin laivat kulkevat. Vähitellen rännille muodostuu murtuneista jääpaloista paksut reunat, jotka pyrkivät pitämään laivat rännissä. Azipod -järjestelmä luotiin nimenomaan rännistä murtautumisen ratkaisuksi. Kääntyvällä yksiköllä voitiin potkureiden työntövoima suunnata niin, että rännistä murtautuminen oli suhteellisen helppoa. (ABB Oy 2007 )

Ensimmäinen todellinen jäänmurtaaja, joka varustettiin Azipod - propulsiolaitteilla, oli vuonna 1995 Helsingin Kvaerner Masa Yardsin telakalla rakennettu jokijäänmurtaaja, Röthelstein. Murtaajan suurin pituus on 42,3 metriä ja leveys 10,0 metriä. Alukseen asennettiin kaksi 0,6 MW:n VI -sarjan podia, jotka mahdollistivat kulun 70 senttiä paksussa kiintojäässä.

Kolme vuotta Röthelsteinin valmistumisen jälkeen saatiin ensimmäinen suomalainen Azipod -käyttöinen 96,7-metrinen monitoimimurtaaja Botnica, joka rakennettiin Aker Finnyardsin Rauman telakalla. Alus suunniteltiin offshore -käyttöön jäänmurron ohella, mikä tarkoitti lisävaatimuksia aluksen tekniikalle. Yksi vaatimus oli niin sanotun dynaamisen paikannuksen mahdollisuus, jolla tarkoitetaan aluksen tarkkaa sijainnin hallintaa. Tätä ominaisuutta tarvitaan töissä, jotka vaativat erityistä tarkkuutta, kuten esimerkiksi merenpohjaan asennettavan kaapelin laskussa. Tähän tarkoitukseen alukseen asennetut kaksi 5 MW:n podiyksikköä soveltuivat hyvin. Aikaisemmin rakennetuissa monitoimimurtaajissa Nordicassa ja Fennicassa dynaamisen paikannuksen tiukat kriteerit saatiin täytettyä kahdella mekaanisella 7,5 MW Aquamaster -ruoripotkuriyksiköllä (ns. Z-drive). Botnican yhtenä erikoispiirteenä koneiston osalta, on dieselgeneraattoreiden (Caterpillar 3512B 1258 kW) määrä, joita on peräti 12 kappaletta. Tällä saadaan tietysti optimoitua koneiden käyttöä osatehoilla ajettaessa, tosin koneiden haalaustöiden määrä kasvaa samalla.

### 5.3 Vinojäänmurtaja

Jäänmurron uusi konsepti on niin sanottu vinojäänmurtaja (engl. Oblique Icebreaker). Nimitys vinojäänmurtaja tulee siitä, että alus voi murtaa jäätä vinosti kylki edellä. Näin alus kykenee murtamaan huomattavasti leveämpää ränniä kuin perinteinen murtaja keula edellä, jolloin isoimmatkin avustettavat alukset kykenevät siinä kulkemaan. Normaalisti vastaavan levyisen rännin tekemiseen tarvittaisiin kaksi murtajaa, mikä lisää kustannuksia huomattavasti. Normaalin kapean rännin murtaminen toteutetaan taas perinteisesti keula tai perä edellä, näin jäänvastus ei ole niin suurta kuin kylki edellä ajettaessa ja tehon tarve vähenee. Vinojäänmurtajan runko ja pohja on muoltua epäsymmetrinen ja se vaatii kolme ruoripotkuria, joista kaksi on aluksen molemmissa päissä ja yksi sivulla.

Konseptia alettiin kehittää Kvaerner Masa Yardsissa jo vuonna 1997, mutta vasta vuoden 2011 lopussa tilattiin ensimmäinen. Tämän ensimmäisen ARC 100 -luokan aluksen (kuva 15) tilasi Venäjän valtio. Rakennustöistä suurin osa tehdään Venäjällä, mutta viimeistely on määrää tehtä Aker Arcticin Helsingin telakalla. Pituutta aluksella tulee olemaan 76 metriä ja se kykenee tekemään 50 metriä leveää ränniä 60 senttimetriä paksuisessa jäässä. Propulsiolaitteiksi on valittu kolme Z-drive -tyyppistä mekaanista ruoripotkuria, joiden yhteisteho on 7500 kW.

ARC-100-konsepti ei vielä täytä kaikkia vaatimuksia, varsinkaan kovissa jääoloissa, joten siitä on kehitteillä suurempi ARC-100 HD -versio (HD =Heavy Duty), joka on kooltaan ja suoritusarvoiltaan edeltäjäänsä huomattavasti suurempi. Propulsiotehoa on tarkoitus olla 19,5 MW, mikä mahdollistaa 50 metriä leveän rännin murtamisen 1.5 metriä paksussa jäässä. Tehoa tarvitaan kohtalaisen paljon, joten on hyvin mahdollista, että HD -versiossa propulsiolaitteistoksi valitaan tällä kertaa sähköiset ruoripotkurit, siis mikäli kyseinen tyyppinen alus päätetään jossain vaiheessa rakentaa. (Aker Arctic 2012.)





Kuva 15. ARC - 100 -luokan vinojäänmurtaja (Aker Arctic 2012)



#### 5.4 Azipodin luotettavuus jääolosuhteissa

Kuten aikaisemmin mainittiinkin, Azipod -järjestelmän historia pohjautuu pitkälti aluksiin, jotka on suunniteltu kulkemaan jäissä, joten alusta pitäen on suunnittelussa osattu ottaa huomioon talvimerenkulun tuomat erityisvaatimukset rakenteille ja tekniikalle. Laitteen runko joutuu jäiden aiheuttamien lisärasitusten takia koville, joten sitä on jouduttu vahvistamaan suhteessa avovesimalliin. Myös tekniikalta vaaditaan niin sanotusti ylimitoitusta, jotta jäät eivät pääsisi aiheuttamaan vaurioita tai muita ongelmia. Luotettavuus on ollutkin hyvä luokkaa, sillä ei tunneta ainuttakaan tapausta, jossa jää olisi itsessään aiheuttanut laiterikon. Kokemusta on noin kertynyt 30:stä jäätä murtaavasta aluksesta ja kumulatiivisesti kertyneitä käyttötunteja on yli miljoona. Tällä hetkellä noin kaksi kolmasosaa kaikista korkean jääluokan omaavista, 90 -luvun jälkeisen rakennetuista aluksista, on varustettu Azipod -ruoripotkurilla. (ABB Marine. 2012 Icebreaking vessels Azipod VI propulsion)

#### 5.5 Azipodin ja Z-Drive -ruoripotkurin vertailu jääajossa

Mekaaninen ruoripotkurilaite on kilpaileva konsepti sähköiselle ruoripotkurille, ja se voidaan periaatteessa asentaa samoihin aluksiin, joissa käytetään sähköisiä versioita. Mekaanisia laitteita on monenlaisia, kuten diesel-mekaaninen ja erilaisia variaatioita sähkömoottorilta tehonsa ottavista, mutta vertailussa käytetään jo edellä mainittua Z-drive -järjestelmää. Z-drive-nimitys tulee akseliston rakenteesta, jossa sähkömoottori

on kytketty akselistoon, jossa on kaksi kartiohammaspyörillä toteutettua kulmavaihdetta. Näin muistuttaen hieman ulkonäöltään Z -kirjainta. Laitetta voidaan kääntää portaattomasti 360 astetta molempiin suuntiin, samoin kuin Azipodiakin. Vertailu (kuva 16) on tehty Azipodin näkökulmasta, joten vertailtavien kohtien valinta ja asettelu jossain määrin ylikorostavat Azipodin vahvuuksia suhteessa Z-drive -laitteistoon.

Azipod VI:n ja Mekaanisen ruoripotkurin (Z-Drive) vertailu jäätämurtavassa aluksessa			
Molemmissa laitteissa potkurit ovat avoinna (ilman suolaketta)			
Mekaanisessa ruoripotkurissa (Z-drive) sähkömoottori asennettu laivan sisäpuolelle			
		Azipod VI - Sarja	Mekaaninen ruoripotkuri (Z-drive)
Yleistä	Rakenne	Yksinkertainen mekaaninen rakenne ja suunnittelun lähtökohdat jäänmurrossa	Vikaantumisherkempi monimutkaisempi rakenne -> Jäähukitettut mallit vaativat akseliston ylimitoituksen
	Käyttö jäätämurtavissa aluksissa	Laajasti käytössä -> mm. useita kaksitoimisia aluksia	Rajoitetun käyttöä, ei referenssejä kaksitoimisista aluksista
	Tehoalueet (Jäänmurto)	1.5 MW - 17 MW (jäähukituksella), ei mekaanista ylärajaa	Maksimi teho noin 8.4 MW, johtuen mekaanisista rajoituksista
	Mekaaniset häviöt	0.5 %	Tyypillisesti 7 - 9 %
	Värinä - ja melu	Matalat värinä - ja melutasot korkeissakin nopeuksissa	Korkeammat värinä - ja melutasot
Suorituskyky jäissä	Ylimomentin mitoitus	Ei rajoitettu, asiakkaan tarpeiden mukainen mitoitus	Rajoitettu (30 - 50 % ylitys maksimi paalunvedosta), johtuen kartiohammaspyörien tuomista rajoituksista
	Kierrosluvun ylläpitokyky	Korkea ylimomentin kesto -> tasainen kierros luku jäissä ajossa -> vähemmän potkurin "pysähtymisiä"	Kestää heikommin ylimomenteja -> epätasaisempi kierrosnopeus jäissä -> potkuri "pysähtelee" herkemmin
	Jäänmurto-ominaisuudet perä edellä ajettaessa	Eittäin hyvät -> johtuen vetävän podin tuomista eduista	Rajoittuneet, johtuen käyttökokemusten puutteista kaksitoimisissa aluksissa
Luotettavuus	Yleinen luotettavuus	Hyvä, johtuen yksinkertaisesta rakenteesta	Haavoittuvaisempi monimutkainen rakenne
	Tiivisteet	Vähän ongelmia	Enemmän ongelmia
	Laakerointi	Aimoastaan kaksi laakeria potkuriakselissa -> pieni vikaantumiseriski	Vähintään 9 laakeria akselistossa -> isompi riski laakerivaurioille
	Akseliston kartiohammaspyörät	Ei tarvita	Käytetään -> lisää vikaantumisherkkyyttä, joudutaan ylimitoittamaan jään aiheuttaman kuormituksen takia
Koneisto	Konehuonetilat	Pienempi tilantarve aluksen sisällä, koska sähkömoottori sijaitsee podissa	Tilantarve suurempi, koska sähkömoottori akseliseinä on aluksen sisäpuolella
	Potkurin lapojen etäisyys rungosta	Esim. 8 MW yksikkö, tyypillisesti 1.25 - 1.35 metriä	8 MW:n yksiköllä tyypillisesti 0.8 - 0.95 metriä
	Voiteluöljyn määrä	Satoja litroja	Tuhansia litroja -> useita kitkapintoja

Kuva 16. Azipod VI ja Z-Drive vertailu (ABB Marine Ice Breaking Vessels 2012, 6, muokattu)

## 6 MALLIVAIHTOEHDOT

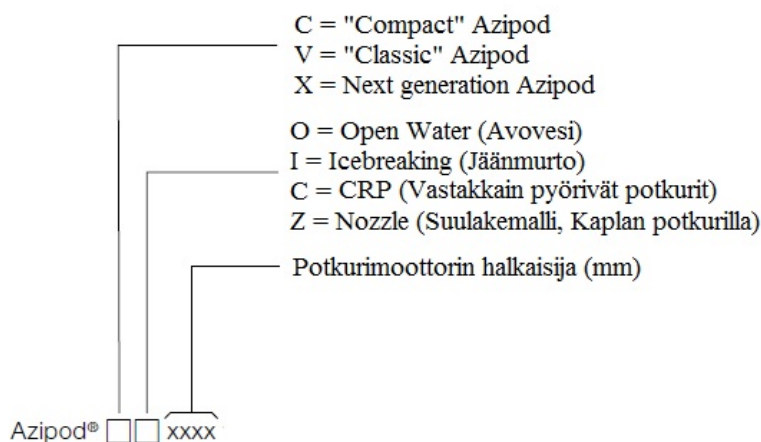
ABB Oy:n sähköisten ruoripotkurien mallivalikoima käsittää kolme Azipod perustyyppiä, joista on saatavilla useita erilaisia variaatioita. Ne eroavat toisistaan teholtaan ja ominaisuuksiltaan. Perustyyppit on jaettu C-, V- ja X-sarjaan, joista C-sarja eli Compact Azipod on nimensä mukaisesti pienin. Compact Azipodeja on saatavilla 1 - 4,5 MW:n kokoisina, joten se on lähinnä tarkoitettu pienemmän kokoluokan aluksiin, kuten muun muassa tutkimusaluksiin ja porauslauttoihin. (ABB Marine Azipod Product Platform Selection Guide 2010.)

Isommissa aluksissa käytetään tavallisesti V- ja XO-sarjan podeja, joiden tehoalue on 3 - 25 MW. X-sarja eli Next generation on uusin konsepti ja se korvannut avovesimalleissa vanhan V-sarjan, jota tosin vielä valmistetaan jäissä kulkeviin aluksiin. (ABB Marine Azipod Product Platform Selection Guide 2010.)

Azipod V-sarjan tekniset ominaisuudet esiteltiin jo referenssinä aiemmassa kappaleessa, joten tässä osiossa keskitytään tarkastelemaan enemmän C- ja X-malleja.

### 6.1 Mallikoodi

Azipodin mallikoodi kertoo minkä tyyppin Azipodista on kyse ja mihin olosuhteisiin se on tarkoitettu, sekä siitä selviää myös potkurimoottorin koko suurpiirteisesti. Koodin perässä voi olla myös lisämerkintöjä, kuten esimerkiksi A, joka tarkoittaa asynkronista propulsiomootoria. (ABB Marine Azipod Product Platform Selection Guide 2010.)



## 6.2 Azipod V-sarja

Azipod -konsepti perustuu pitkälti V-sarjan Azipodin kehitykselle, sillä konseptin historian ensimmäiset kymmenen vuotta se oli ainoa saatavilla oleva malli, joten niitä on lukumääräisesti myös eniten käytössä. Niitä valmistetaan edelleen jäissä kulkeviin aluksiin, mutta vuonna 2011 avovesimallit korvattiin uudella X-sarjalla. Tällä hetkellä saatavilla olevien mallien (VI) tehoalue vaihtelee 3 - 13 MW:n välillä, mutta aikaisemmin suurimmat asennetut avovesiyksiköt (VO) olivat 20 MW:n tehoisia. (ABB Marine Azipod Product Platform Selection Guide 2010.)

## 6.3 Compact Azipod

Compact Azipodin kehitystyö alkoi vuonna 1999, jonka tarkoitus oli laajentaa Azipod -tuoteperhettä pienemmän kokoluokan yksikköjen suuntaan. Tehoaluetta 1 - 5 MW pidettiin parhaimpana vaihtoehtona, sillä kyseisessä teholuokassa vastaavien mekaanisten ruoripotkureiden myynti liikkui useissa sadoissa yksiköissä vuosittain, joten myyntipotentiaalia oli tarjolla. (ABB Oy 2007.)

Vaikka kyseisessä kokoluokassa oli tarjolla V -sarjankin malleja, haluttiin luoda kokonaan uusi konsepti, joka olisi fyysiseltä kooltaan huomattavasti pienempi. Koon pienentämisellä saavutettiin paremmat hydrodynaamiset ominaisuudet ja samalla laitteiston tilantarve pieneni. Kestomagneettimoottorin tuomien teknisten ominaisuuksien johdosta saatiin laitteen vedenalaisen rungon halkaisijaa pienennettyä ja samalla päästiin eroon sähkömoottoreille tavallisista roottorihäviöistä. Samalla koko jäähdytysjärjestelmä yksinkertaistettiin, suunnittelemalla rakenne siten, että moottorin tuottama lämpö siirtyy vaipan kautta suoraan veteen. Erillisiä ilmakehäjäähdyttimiä ei näin ollen tarvittu siirtämään lämpöä pois moottorilta. (ABB Oy 2007.)

Compact - mallin kehitystyön yhteydessä haluttiin myös parantaa valmistuksen kustannustehokkuutta, joten laitteiston eri osat moduloitiin ja standardoitiin. Tämä paransi valmistustehokkuutta, koska eri mallivariaatiot voitiin kasata osittain samoista moduuleista. (ABB Oy 2007.)

Laitteistoa on saatavilla avovesimallina (CO) ja mallina, joka on varustettu paalunvetoa parantavalla suulakkeella (CZ), jossa on niin sanottu Kaplan tyyppinen potkuri.

Jääolosuhteisiin erikseen tarkoitettuja malleja ei ole valmistettu, kuitenkin esimerkiksi 1A Super jääluokituksen omaava Suomenlinna II -lautta on varustettu CO -mallisilla Azipodeilla. Ensimmäinen kahdella 2,3 MW:n CO-mallilla varustettu järjestelmä toimitettiin vuonna 2001 norjalaiseen Normand Rover huoltoalukseen. (ABB Marine References 2013.)

### 6.3.1 Referenssit eri alustyypeissä

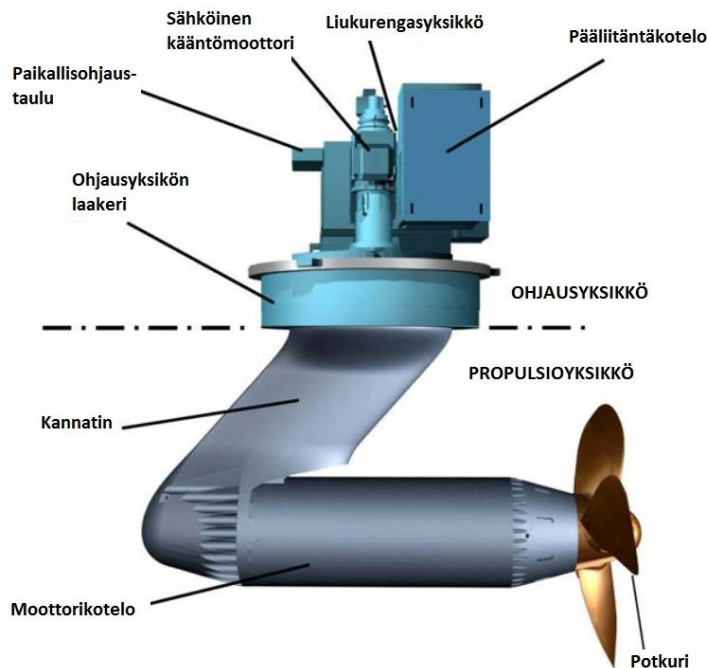
Compact -mallia on asennettu tai tilattu 99 kappaletta 40 alukseen, vuoteen 2013 mennessä (ABB Marine References 2013). Sen suunniteltu käyttöalue käsittää hyvin laajalla skaalalla eri aluksia ja käyttöä rajaa harvat tekijät. Yksi tällainen on kuitenkin aluksen huippunopeuden rajaaminen maksimissaan 21 solmuun, joten nopeissa aluksissa sitä ei voida käyttää. Toinen rajoittava tekijä on maksimiteho, joka tulee alukseen kasvaessa hyvin nopeasti vastaan. (ABB Marine Azipod Product Platform Selection Guide 2010.)

Alustyytit joihin Compact -mallia on asennettu:

- Offshore-huoltoalukset
- Isot jahdit
- Lautat ja Ropax-alukset
- Pienen kokoluokan tankkerit
- Tutkimusalukset
- Putkenlasku- ja erikoisalukset
- Porauslautat

### 6.3.2 Rakenne

Compact Azipod on siis fyysiseltä kooltaan pienempi, joten sähkömoottoritilaan ole mahdollista mennä tekemään huoltotöitä, toisin kuin isommissa V- ja X-sarjan malleissa, joissa on erillinen huoltokäytävä podin sisälle. Tämän takia podin tekniset ratkaisut (kuva 17) ovat pyritti suunnittelemaan yksinkertaisiksi, kestäviksi ja mahdollisimman huoltovapaiksi. Järjestelmä on suunniteltu siten, että vikaantunut tai määräaikaishuoltoa vaativa yksikkö voidaan vaihtaa suhteellisen helposti uuteen ilman telakointia. (ABB Marine Azipod Product Platform Selection Guide 2010.)



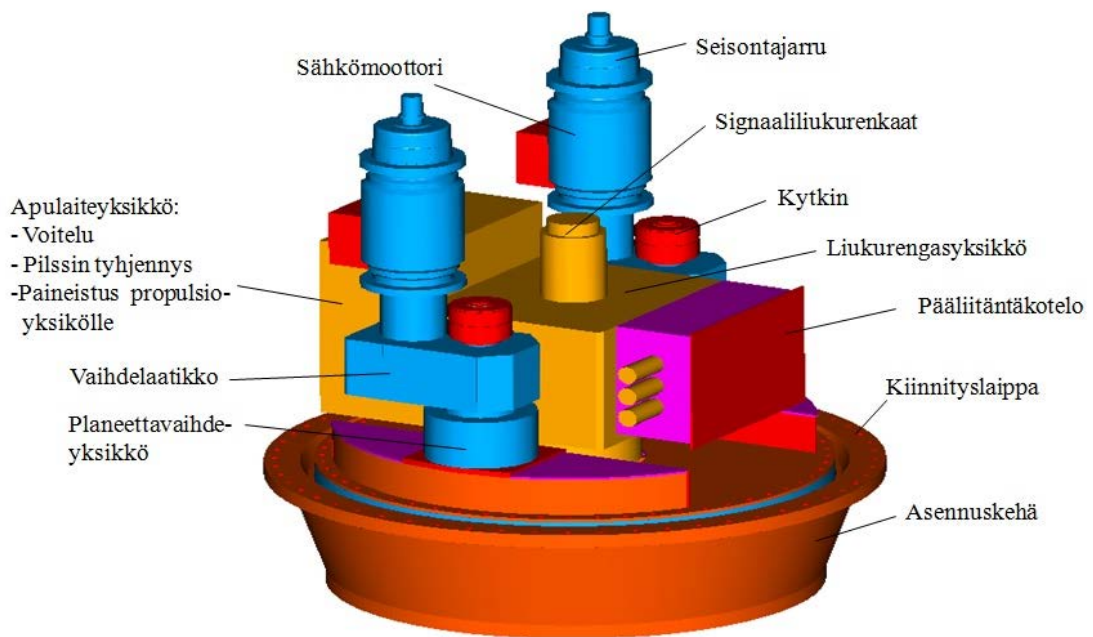
Kuva 17 Compact Azipodin rakenne (ABB Marine Azipod CO Product Introduction 2010, muokattu)

### 6.3.3 Moduulit

Compact Azipod on jaettu moduuleihin, jotka voidaan kytkeä toisiinsa niin sanotusti Plug and Play -periaatteella, eli laitteiston kasaus tapahtuu asennuspaikalla moduuleittain. Tämä nopeuttaa huomattavasti asennusta, sillä jokaista komponenttia ei tarvitse yhdistää erikseen, koska ainoastaan moduulien yhteensopivat "rajapinnat" yhdistetään toisiinsa. Laitteisto koostuu ohjausyksikkö-, kannatin-, moottori- ja potkurimoduulista. (ABB Marine Azipod CO Product Introduction 2010.)

#### 6.3.3.1 Ohjausyksikkömoduuli

Ohjausyksikkömoduuli (kuva 18) vastaa laitteistoltaan ja toiminnaltaan paljolti, jo aikaisemmin esiteltyä V -sarjan ohjausyksikköä (kuva 2). Kuitenkin joitakin isompia eroavaisuuksia löytyy, suurimpana kuitenkin se, että laitteessa ei ole paljon tilaa vaativaa ilmajäähdytyslaitteistoa. Myös muita merkittäviä teknisiä eroavaisuuksia on, niistä seuraavaksi.



Kuva 18 Ohjausyksikömoduulin rakenne (Ulstein Verft AS 2001, 8, muokattu)

**Kääntömoottorit** ovat taajuusmuuttajaohjattuja sähkömoottoreita, joita on kaksi kappaletta per yksikkö. Sähkömoottorien voima välittyy vääntömomenttia lisäävän alennusvaihteiston ja planeettavaiheyksikön kautta hammasrattaille, jotka liikuttavat kääntökehää ja samalla koko propulsioyksikköä. Vaihdelaatikot ovat varustettuja irrotuskytkimillä ja sähkömoottoreihin on integroitu seisontajarru, joka estää laitteiston haltittoman liikkumisen kun se ei ole käytössä. (ABB Marine Azipod CO Product Introduction 2010.)

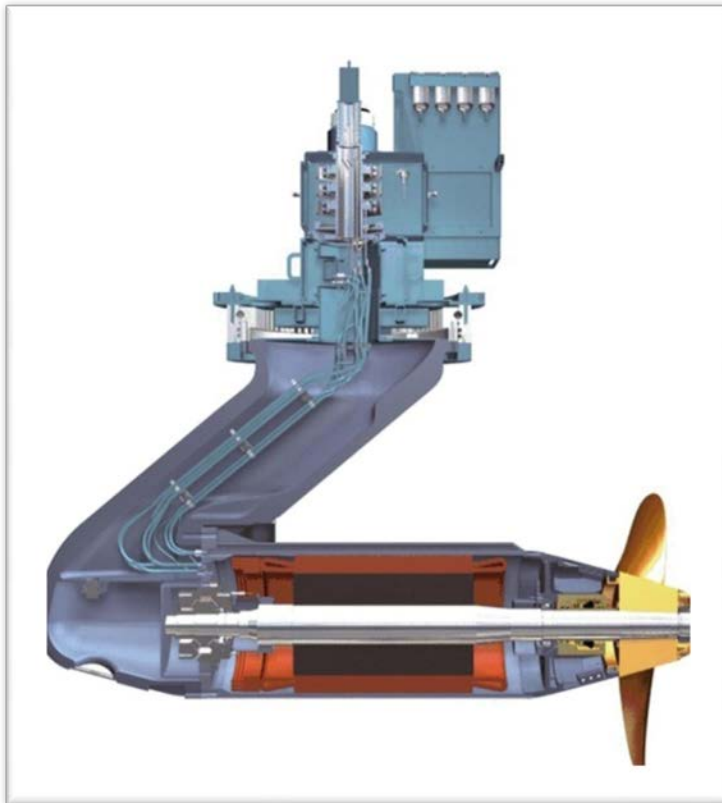
**Apulaiteyksikkö** pitää sisällään muun muassa laakerien voitelun kontrollointiyksikön, pilssin tyhjennys- ja valvontalaitteet. Yksikössä on vielä kaksi kompressoria, jotka kuuluvat ns. paineistussyksikköön. Paineistuksen tarkoituksena on nostaa moottorin tilan paine ympäröivän veden painetta korkeammaksi, jolloin merivesi ei pääse vuotamaan laitteen sisälle. Paineita voidaan käyttää myös moottorin tilan pilssin tyhjentämiseen siten, että normaali ilmanpainetta korkeampi paine aiheuttaa imun tyhjennysputkistoon, joka on yhteydessä normaalipaineeseen laitehuoneeseen. Voitelujärjestelmään kuuluu moottorin DE - laakerin voitelurasvan annostelun ja laadun seuranta- ja painelaakerin öljynpinnan tason valvonta. (ABB Marine Azipod CO Product Introduction 2010.)

**Tiivisteet**, joiden tarkoitus on pitää vesi pois laivan sisästä ja ohjausyksikön laakerista, ovat rasvavoideltuja huilitiivisteitä ja niitä on kaksi kappaletta yksikköä kohden.

**Liukurengasyksikköön** kuuluu tehonsyöttö- ja signaaliliukurenkaat, sekä samaan pakettiin on sijoitettu myös asennontunnistinjärjestelmä.

### 6.3.3.2 Kannatinmoduuli

Kannatinmoduulin tehtävä on toimia yhdistävänä rakenteena (kuva 19) moottoritalan ja ohjausyksikön välillä. Se koostuu yhdestä valetusta kappaleesta ja se on muotoiltu litteäksi, jotta veden vastus olisi mahdollisimman pieni. Muotoilu mahdollistaa myös rajoitetun peräsintyyppisen ohjailun vaikkei potkuri pyörisi. Kannattimessa kulkee myös voiteluaineputket, sekä ohjaus- ja tehonsyöttökaapelit propulsiomoottorille. (ABB Marine Azipod CO Product Introduction 2010.)



Kuva 19 Compact Azipodin halkileikkaus (ABB Oy 2007)

### 6.3.3.3 Moottorimoduuli

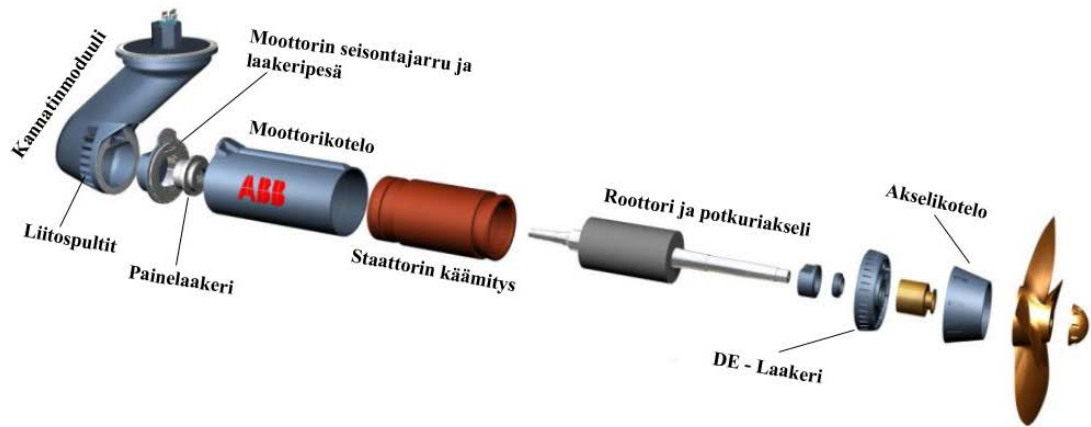
**Propulsiomoottorina** toimiva kestmagneettimoottori on sijoitettu moottorikotelon sisälle (kuva 20), jonka kautta siis jäähdytyskin tapahtuu. Roottori ja potkuri ovat kiinni yhtenäisellä akselilla, johon roottorin napa on kutistusliitoksella asennettu ja jo-



hon kestmagneettielementit ovat mekaanisesti lukittu. Kestomagneettien ansiosta roottoriin ei tarvitse johtaa magnetointivirtaa, joten liukurenkaita tai harjoja ei tarvita. Staattori on käämitty muotokuparista, joka on kauttaaltaan kyllästetty hartsilla. Käämitys on tehty erittäin lujaksi, joten esimerkiksi käynnistyksistä johtuvat virtapiikit eivät aiheuttaisi siihen muodon muutoksia. Roottori potkuriakseleineen voidaan lukita paikoilleen painelaakeripäädystä sijaitsevalla seisontajarrulla. (ABB Marine Azipod CO Product Introduction 2010.)

**Laakereina** käytetään ainoastaan erityyppisiä vierintälaakereita. Painelaakeri on tyypiltään pallomainen rullalaakeri ja se on öljysumppuvoideltu. Erillistä voiteluöljyjäähdytintä ei tarvita, sillä riittävä jäähdytys tapahtuu moottorikotelon kautta veteen. Moottorin DE-kannatuslaakeri on taas rasvavoideltu rullalaakeri. Rasvavoitelua käytetään, koska ympäröivä vesi jäähdyttää laakeria tehokkaasti, minkä takia rasva ei pääse notkistumaan liikaa. Täten kulutus pysyy pienenä ja siten laakeritilassa oleva jäterasvalaatikko kyetään mitoittamaan niin, että sen tilavuus riittää aina seuraavaan haalaukseen saakka. Molemmissa laakereissa on lämpötila-anturit, jotka varoittavat ylikuumentumisesta ja DE-laakeritila on myös varustettu vuodonilmaisimilla. (ABB Marine Azipod CO Product Introduction 2010.)

**Potkuriakselin tiivistys** on toteutettu kolmiportaisella tiivistepaketilla, jossa kaksi sisimmäistä tiiviste-elementtiä ovat rasvavoideltuja ja uloimmaisimman tiivisteeseen voitelusta huolehtii merivesi, näin varmistetaan ettei rasvaa päädy meriveteen. Uloimmainen tiiviste on valmistettu keraamisesta materiaalista ja kaksi sisimmäistä ovat perinteisiä huulitiivisteitä. Tiivistepaketti on vaatinut huolellista suunnittelua, jotta se olisi mahdollisimman vedenpitävä, sillä vettä ei saa päästä laakerille. Jo 0.05% vesipitoisuus voitelevassa rasvassa heikentää oleellisesti sen toimintaikää ja rasvan ominaisuuksien tulee säilyä useita vuosia hyvänä aina seuraavaan haalaukseen saakka. (ABB Marine Azipod CO Product Introduction 2010.)



Kuva 20. Moottorimoduulin pääkomponentit (ABB Marine Azipod C Propulsion and Thruster Units 2012, muokattu)

#### 6.3.3.4 Potkurimoduuli

Potkureina voidaan käyttää useita erilaisia malleja, riippuu millaisia ominaisuuksia siltä halutaan. Tyypillisin käytössä oleva malli on yksiosainen ja nelilapainen kiinteäsiipipotkuri. Aluksissa, jotka on varustettu dynaamisella paikannusjärjestelmällä, kuten esimerkiksi joissain porauslautoissa käytetään paaluvetokykyä parantavaa suulaketta ja siihen sopivaa vesivoimalaitoksissakin käytettyä Kaplan - tyyppistä potkuria. (ABB Marine Azipod CO Product Introduction 2010.)

#### 6.3.4 Propulsioyksikön vaihto merellä

Kuten aikaisemmin jo mainittiin, niin Compact Azipodin propulsioyksikkö voidaan vaihtaa uuteen veden alla ilman, että alusta tarvitsee erikseen sen takia telakoida. Tämä ominaisuus on erityisen tärkeä muun muassa porauslauttasovelluksissa, sillä niiden telakointi on luonnollisesti hyvin hankalaa. Laitteiston rakenne on suunniteltu siten, että vaihtoon riittää ainoastaan yksi nosturi, eikä sukeltajaakaan ole välttämätön. Tarvittavat vedenalaiset työt voidaan hoitaa kauko-ohjattavalla sukellusrobotilla. (Strand, Lauvdal & Ådnanes 2001.)

Vaihdon proseduurit pääpiirteittäin:

1. Vaihdetavan yksikön irrotus aloitetaan kytkemällä irti ohjausyksikkö propulsioyksiköstä, jonka jälkeen se siirretään sivuun.

2. Propulsioyksikkö tulpataan vesitiiviillä kannella ja paineistetaan.
3. Aluksen rungossa oleva asennuskehä niin ikään tulpataan vedenpitävällä kannella.
4. Kolme vaijeria lasketaan vinssillä alas rungossa olevien vaijeriputkien läpi, joiden suut ovat propulsioyksikön ympärillä, jonka jälkeen ne kiinnitetään yksikön nostopisteisiin.
5. Kiinnityspultit avataan aluksen sisältä käsin, jotta yksikkö saadaan vapautettua.
6. Tämän jälkeen se lasketaan vaijerien varassa alemmas, kunnes siihen sukellusrobotin avulla kiinnitetään nosturin vaijeriin, jonka jälkeen kolme muuta vaijeria irrotetaan.
7. Yksikkö voidaan nostaa nosturilla esimerkiksi huoltoaluksen kannelle (Kuva 21). (Strand, Lauvdal & Ådnanes 2001.)

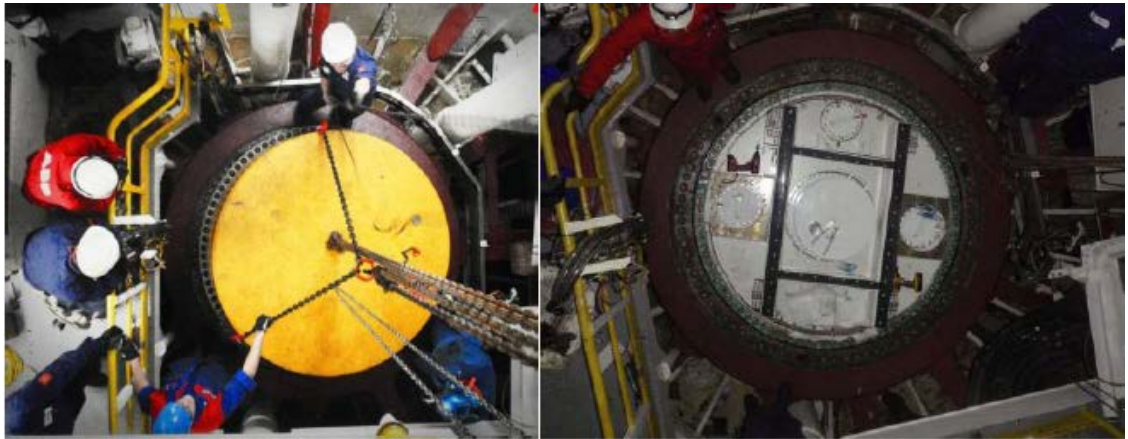


Kuva 21 Porauslautan propulsioyksikön vaihto määräaikaishuoltoa varten (Varis & Laakkonen 2011, muokattu)

Yksikön asennus toteutetaan samaan tapaan, mutta tietysti käännetyssä järjestyksessä, eli nosturilla uusi yksikkö lasketaan veteen, josta se vedetään varovasti paikalle samojen kolmen vaijerin avulla (kuva 22). Asennusaukossa on ohjaimet, jotta ohjaustapit saadaan kohdistettua oikeille paikoilleen. Rungon ja yksikön väliseen tilaan jäänyt vesi poistetaan paineilman avulla ennen lopullista asennusta. (Strand, Lauvdal & Ådnanes 2001.)

### 6.3.5 Esimerkki määräaikaishuollosta

Compact -mallin määräaikaishuolto voidaan toteuttaa esimerkiksi siten, että huollettava propulsioyksikkö vaihdetaan varalla olevaan yksikköön ja käytössä ollut lähetetään huollettavaksi. Vaikka operaatio vaatii ylimääräisiä yksiköitä, säästetään siinä aikaa, kun ei tarvitse odotella haalattavana olevaa laitetta. Näin tehtiin myös esimerkkitapauksina käytettävissä porauslautoissa Development Driller I & II. Molemmissa lautoissa oli kahdeksan huoltoa vaativaa yksikköä, jotka olivat olleet DP-käytössä. Ensimmäinen korjaussykli toteutettiin siten, että ensimmäiset laitteet otettiin huoltoon kesäkuussa 2009, jolloin käyttötunteja oli kertynyt noin 32 000. Tunnit oli kertynyt vajaan viiden vuoden aikana. Toinen korjaussykli tehtiin kesäkuussa 2010, jolloin tunteja oli tullut mittariin 40 000 ja kolmas sykli helmikuussa 2011, tuntimittarin näyttäessä 47 000 tuntia. Viimeisten yksiköiden huolto suunniteltiin noin 60 000 tunnin kohdalle. Huoltotyöt tehtiin ABB:n toimipisteessä Houstonissa. (Varis & Laakkonen 2011.)



Kuva 22. Propulsioyksikön asennusta porauslautan laitehuoneesta käsin (Varis & Laakkonen 2011)

#### 6.3.5.1 Huollon toteutus ja löydökset

Huolto toteutettiin siis työpajalla Houstonissa, jonne yksiköt lähetettiin. Moottorimoduuli ja kannatin moduuli irrotettiin toisistaan ja kaikki osat otettiin purettiin tarkastusta ja huoltoa varten. Kannatinmoduulin ja moottorimoduulin välisissä olevista putkiliitoksista löydettiin jonkin verran korroosiota, joten ne vaihdettiin uusiin paremmin ruostesuojattuihin PTFE-pinnoitettuihin malleihin. (Varis & Laakkonen 2011.)

Potkuriakselin tiivistepaketti avattiin ja kaikki tiivisteet vaihdettiin uusiin. Keraamisessa tiivistereunuksessa havaittiin selviä kulumisenmerkkejä, joka luultavasti johtui liian kovasta jousien puristusvoimasta, joka oli uutena asetettu. Tiivistettä painavissa jousissa ei havaittu mitään normaalista poikkeavaa. Tiivisteholkki oli huulitiivisteiden kohdalle oli hankautunut selvä ura, joka tosin ei olisi aiheuttanut mitään vakavaa. Joissain yksiköissä löydettiin korroosiota tiivisteholkin ja potkuriakselin välistä, jotka pystyttiin kuitenkin huoltamaan. Tiivisteiden valmistaja tutki huulitiivisteet ja arvioi tiivisteiden käyttöikäksi noin 7,5 vuotta kyseisellä käytöllä. Arvion jälkeen tiivistepakettia uudistettiin siten, että sen käyttöikä pitenee reiluun kymmeneen vuoteen. (Vari & Laakkonen 2011.)

NDE-laakeri lähetettiin laakerin valmistajalle tutkittavaksi. Laakerissa ei löytynyt mitään isompia kulumia, ainoastaan vähäisiä jälkiä laakerin vierintäradalla. Laakerin tiivisteiden todettiin olevan myös hyvässä kunnossa. Laakeri olisi vielä hyvin kelvannut käytettäväksi. DE-laakeri vaihdettiin uuteen vaikka se oli vielä hyvässä käyttökunnossa. (Vari & Laakkonen 2011.)

Hammashän todettiin olevan riittävän hyväkuntoinen, joten se ainoastaan puhdistettiin. Ohjausyksikön tiivisteiden ei havaittu juuri vuotaneen ja se oli kohtalaisen hyvässä kunnossa ja sitä olisi voinut vielä käyttää, mutta se päätettiin silti vaihtaa. Ainoastaan tiivisteiden vastinpinnoilla havaittiin silmämääräistä kulumista, joka kiillotettiin tasaiseksi. Ohjausyksikön laakeri (kuva 23) oli niin ikään suhteellisen vähän kulunut. Pientä korroosiota oli havaittavissa laakerikuulissa ja vierintärata oli urittunut. Toimenpiteenä oli laakerikuulien vaihto ja vierintäradan kiillotus. (Vari & Laakkonen 2011.)



Kuva 23. Ohjausyksikön laakerin kulumajälkiä (ABB Extend Maintenance Intervals 2011)

Kestomagneettimoottori ei tunnetusti tarvitse juuri huoltoa, eikä tässä tapauksessa tarvinnut tehdä muuta kuin eristysvastusmittaukset, jotka osoittivat staattorin käämi-

tysten olevan kunnossa. Staattorin käämityksen (kuva 24) joka tapauksessa puhdistettiin ja uudelleen lakattiin vaikka se ei olisi ollut välttämätöntä. Roottorin akseli tarkastettiin tunkeumanesteen avulla, kuitenkin mitään kriittistä ei löytynyt. (Varis & Laakkonen 2011.)

Laitehuoneessa sijaitsevat järjestelmän osat eivät ole siinä mielessä kriittisiä, sillä ne voidaan huoltaa normaalien huoltojen yhteydessä. Joitain osia kuitenkin huollettiin samalla. Merkittävin löydös oli nesteiden läpivientiin tarkoitetun pyörivän liitosyksikön (fluid swivel) odotettua nopeampi kuluminen, joka havaittiin huollon yhteydessä. Osa sijaitsee paikassa, johon on helppo pääsy, mutta sen vaihtaminen vaatii yksikön ottamisen pois käytöstä, mikä haittaa operointia. Muihin malleihin verrattuna Compact mallin laitehuoneen järjestelmien huoltoon verrattain helppoa, johtuen sen yksinkertaisemmasta rakenteesta, josta puuttuu ilmanjäähdytysyksikkö ja öljynkieroon tarkoitetut laitteet. (Varis & Laakkonen 2011.)



Kuva 24. Compact -mallin staattori purettuna (Varis & Laakkonen 2011)

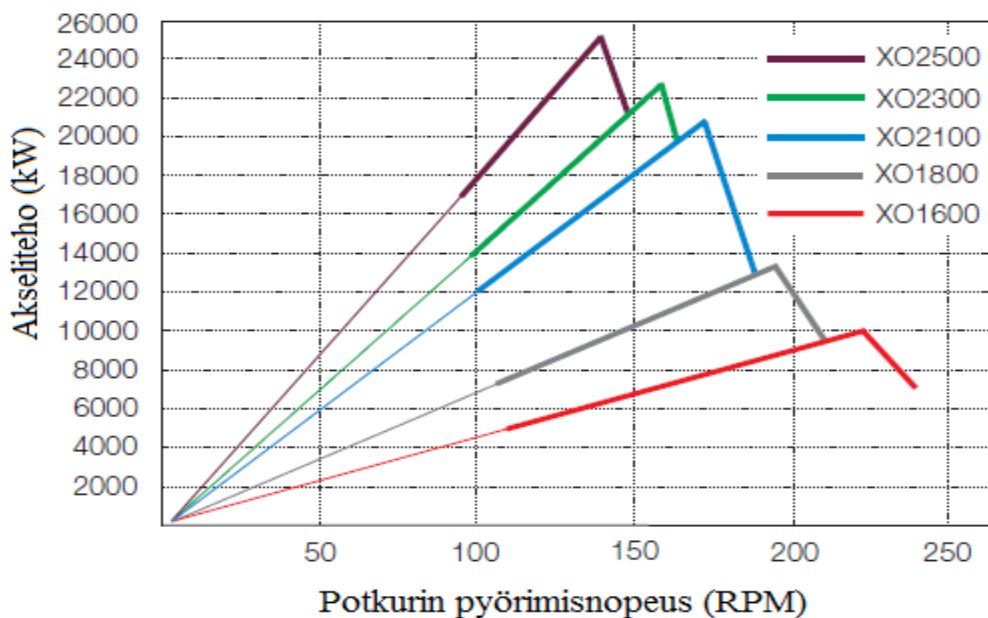
### 6.3.5.2 Huoltovälin pidennys

Alunperin suunniteltu huoltoväli oli viisi vuotta, kuten on myös muilla Azipod -malleilla, johtuen telakointisyklistä. Kuitenkin laitteen toimintakyky huomattiin säilyvän huomattavasti pidempään. Ainoastaan jotkin kuluvat osat, kuten lähinnä potkuriakselin tiivisteet, lyhentävät huoltoväliä. Tähän vastattiin suunnittelemalla ne uusiksi siten, että ne kestäisivät kymmenen vuotta ilman huoltoa. Uudistusten myötä yhdessä DNV -luokituslaitoksen kanssa mallin huoltoväliä kasvatettiin viidestä vuodesta jopa kymmeneen vuoteen. Se tuli voimaan tietyn edellytyksin kuten, että moottoritila varustetaan värinäantureilla, vuodonilmaisimilla ja lämpötila-antureilla, jotka lähettävät tietoa laitehuoneeseen. (Varis & Laakkonen 2011.)

## 6.4 Azipod X-sarja

ABB:n Azipod tuoteperheen uusin X-sarja (Next generation), esiteltiin elokuussa 2009. Laitteisto suunniteltiin korvaamaan vanha avoveteen tarkoitettu VO-sarja, joten nykyään käytetään XO-mallikoodinimitystä pelkän X-kirjaimen sijaan. Kolme vuotta ennen julkaisua aloitetun kehitystyön tarkoituksena oli parantaa laitteiston luotettavuutta ja tehokkuutta, sekä pienentää elinkaarikustannuksia. (ABB Marine Azipod XO 2010.)

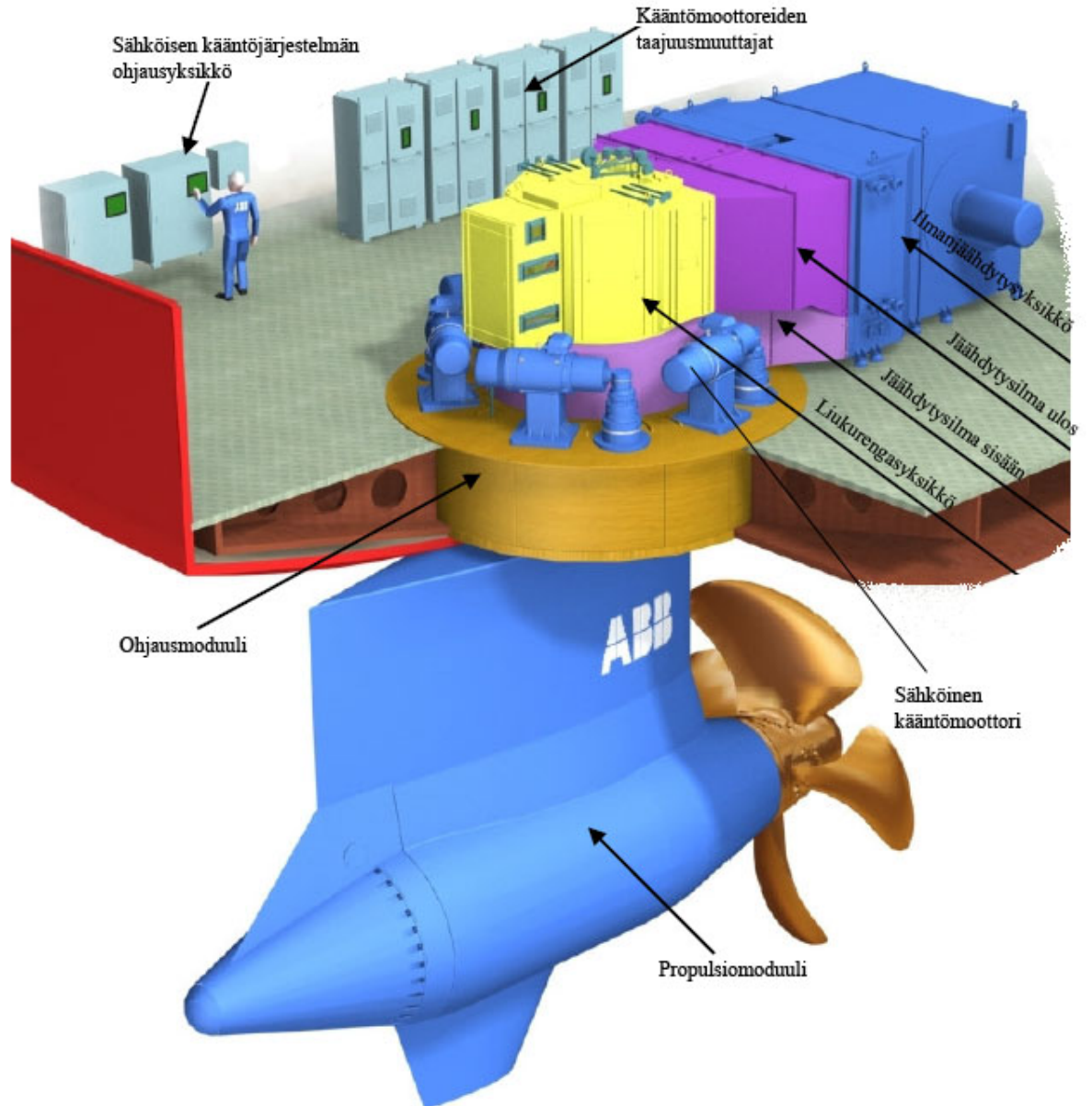
Myös valmistuskustannuksia haluttiin pienentää ja yksiköiden asennusta nopeuttaa, joten X-sarja alettiin käyttämään jo Compact-mallissa tutuksi tullutta modulaarista rakennetta. Koko mallisto koostuu 350:stä standardimoduulista, joista 50 kappaletta on valinnanvaraisia. Tyypillinen laiteoitus pitää sisällään kaksi "päämoduulia" (propulsio- ja ohjausmoduuli) ja 12 apulaitemoduulia. Laitteistoja on saatavilla viittä eri fyysistä kokoa, joiden tehoalue vaihtelee 4,5 - 25 MW:n välillä (Kuva 25). (ABB Marine Azipod XO 2010.)



Kuva 25 Azipod XO saatavilla olevien mallien tehoalueet (ABB Marine Azipod XO 2010, muokattu)

## 6.4.1 Uudistettu rakenne

Ulkoisesti XO-malli (kuva 26) ei juurikaan eroa VO- mallista (kuva 2), vaikkakin tehokkuuden kannalta merkittäviä parannuksia on tehty myös runkorakenteisiin. Suurimmat muutokset on teknisissä ratkaisuisissa, joista merkittävin on hydraulisen ohjauksen muuttaminen täysin sähköiseksi. Myös potkuriakselin laakerit ja tiivisteet ovat kokonaan tai osittain uudistettu. (ABB Marine2010 Azipod XO.)



Kuva 26 Azipod XO - mallin rakenne ja laitehuoneen järjestely (ABB Marine Azipod XO Product Introduction 2012, muokattu)

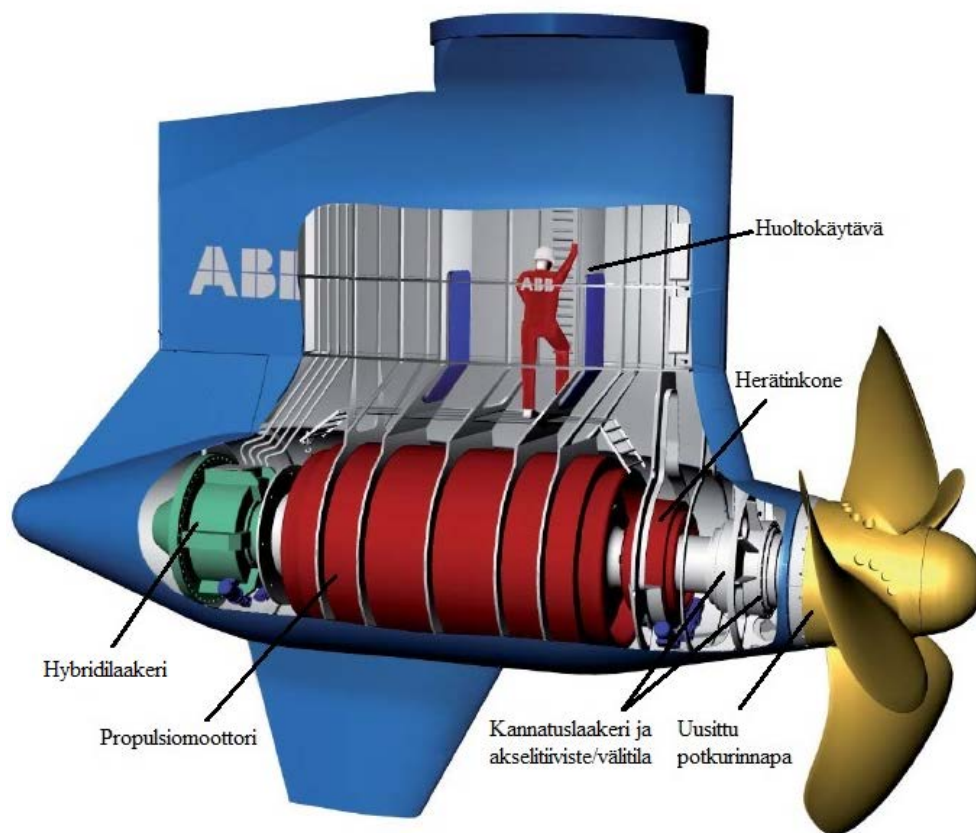


### 6.4.1.1 Runkorakenne

Vedenalaisen rakenteen hydrodynaamista tehokkuutta on saatu parannettua kaventamalla moottorikotelo ja potkurinnapaa. Myös kannatin osaa on muotoiltu virtaviivaisemmaksi, kuten tehty myös laitteen alla olevalle evälle. Nämä muutokset ovat parantaneet hydrodynaamista tehokkuutta noin 2 % aikaisempaan VO-malliin verrattuna. (ABB Marine 2009.)

Myös propulsiomodiuulin pysty akselin paikkaa on muutettu, mikä pienentää ohjauksen vääntömomentin tarvetta 20 %, riippuen aluksen nopeudesta. Näin ollen kääntöjärjestelmä rasittuu vähemmän, joten samalla säästyy energiaa ja kääntöjärjestelmän kuormitus pienenee. (ABB Next Generation Azipod Steering to Success 2011.)

Propulsioyksikön sisätiloja on optimoitu (kuva 27), jonka tarkoituksena on ollut helpottaa erilaisten huoltotöiden suorittamista ja lisätä työskentelyn turvallisuutta. (ABB Marine 2009.)



Kuva 27 Propulsiomodiuulin läpileikkaus (ABB Next Generation Azipod Steering to Success 2011, 5)

#### 6.4.1.2 Sähköinen kääntöjärjestelmä

Compact- mallista saatujen hyvien kokemusten myötä myös XO-mallissa otettiin käyttöön täysin sähköinen kääntöjärjestelmä. Tyypillinen järjestelmä pitää sisällään neljä taajuusmuuttajaohjattua oikosulkumoottoria, joiden teho riippuu siitä kuinka paljon vääntöä lasketaan tarvittavan. Jokaiselle moottorilla on oma taajuusmuuttaja, jotka saavat tehonsa sekä päätaulusta, että hätätaulusta perinteisen ruorikoneikon tapaan. Jokainen taajuusmuuttajayksikkö pitää sisällään jarruvastuksen, joka on sijoitettu omaan tuuletettuun kaappiin (kuva 26). (ABB Marine 2009.)

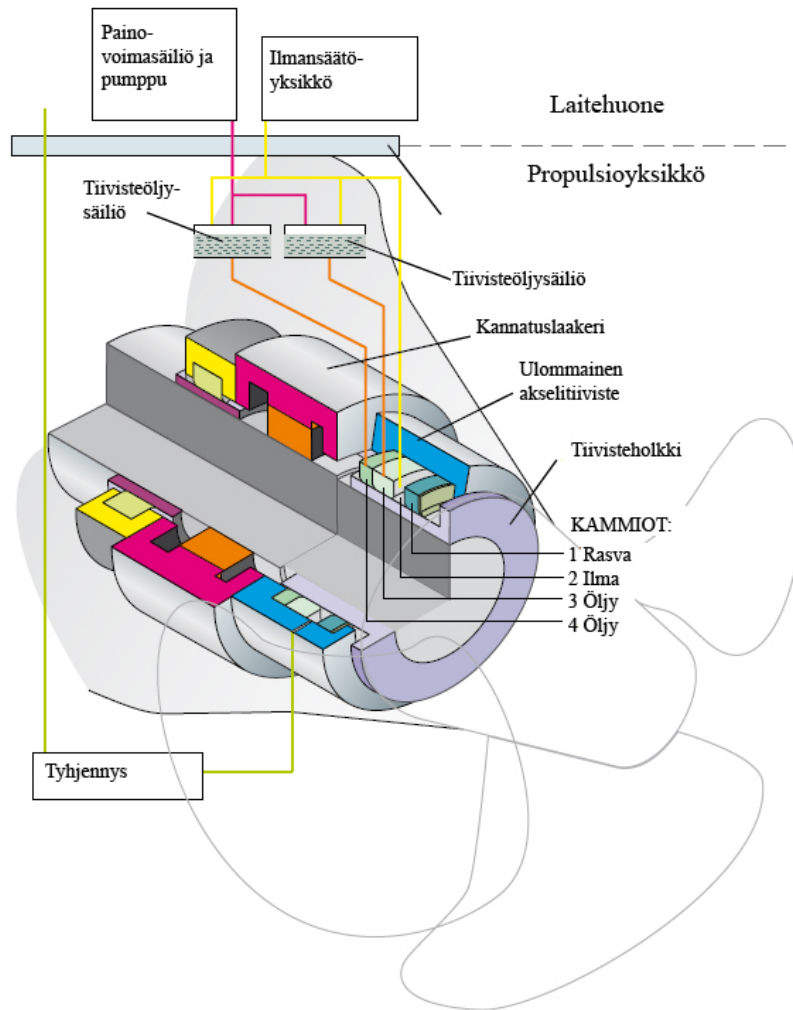
Kääntömoottorit ovat mitoitettuja niin, että jokainen niistä tuottaa 33% tarvittavasta vääntömomentista, eli kaikkien ollessa käytössä saadaan 133 % tarvittavasta väännöstä. Yhden yksikön ollessa pois käytöstä saadaan kuitenkin aikaan 100 %:n kääntöteho. Jos useampi moottori kytkeytyy pois käytöstä ja ruorikulma ei pysy asetetussa arvossa, niin silloin mekaaniset jarrut kytkeytyvät päälle. (Natalie Azoylay, Azirec-järjestelmän suunnittelu, 2012)

Kääntömoottoreiden yhteyteen sijoitetut vaihteiston hammasrattaat on tehty karkaisusta teräksestä ja ne ovat roiskeöljyvoideltuja. (ABB Marine 2009.)

#### 6.4.1.3 Tiivisteet

Tiukentuvien ympäristövaatimusten myötä pienimpiäkään öljyvuotoja ei katsota hyvällä ja niistä voi seurata myös tuntuvat sakot. Tämän takia XO-sarjan yhteydessä kehiteltiin uusi ympäristöystävällisempi potkuriakselin tiiviste (kuva 28), joka voidaan jälkiasentaa myös vanhempiin malleihin tietyin edellytyksin. (ABB Marine 2009.)

Ideana oli kehittää malli, jossa tiivisteiden voiteluöljyä ei pääse vuotamaan mereen. Tästä syystä tiiviste paketti tehtiin moniportaiseksi siten, että uloimmainen merivettä vasten oleva tiiviste on rasvoitelukammiossa. Seuraava kammio on paineistettu ilmalla, jonka paine säätyy syvyyden mukaan automaattisesti. Ensimmäiseen kammioon päässyt vesi pääsee valumaan paineistettuun kammioon, joka tyhjennetään laitehuoneeseen määräajoin automaattisesti. Kaksi viimeistä tiivistettä saavat voitelun paineistetusta tiivisteöljytankeista, jotka sijaitsevat propulsioyksikön sisällä. Tiivisteiden kuntoa voidaan myös valvoa tarkkailemalla vuotavan meriveden määrää paineilukammiossa. (ABB Shaft Seal Modernization 2011.)

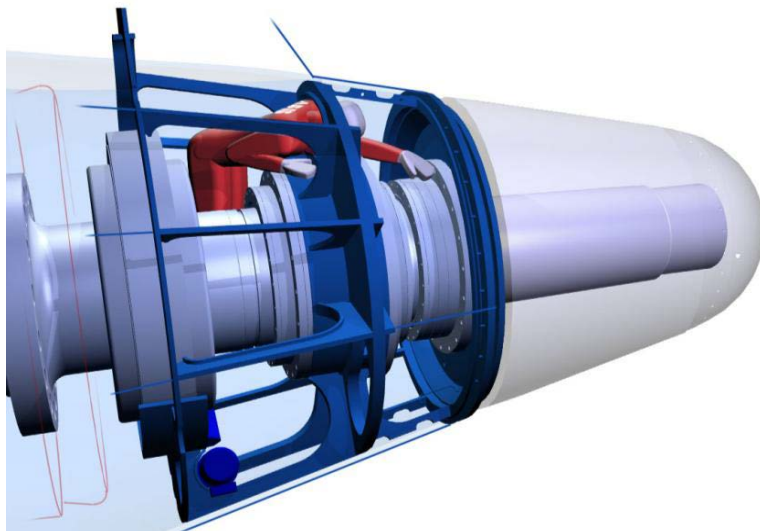


Kuva 28 Uudistettu potkuriakselin tiivistepaketti (ABB Shaft Seal Modernization 2011, muokattu)

Yksi merkittävä elinkaarikustannuksia pienentävistä tekijöistä on tiivisteiden vaihdon mahdollisuus podin sisältä käsin ilman, että alusta tarvitsee telakoida. Tätä ominaisuutta ei ole tilanpuutteen takia sisällytetty sarjan pienimmän kokoluokan malleihin. (ABB Shaft Seal Modernization 2011.)

Tiivistepaketti on sijoitettu omaan niin sanottuun tyhjiin tilaan, joka on erotettu laipioilla moottoritilasta, jossa sijaitsee myös akselin kannatuslaakeri. Mahdollinen vuoto-vesi ei näin ollen pääse aiheuttamaan ongelmia laakerille ja sähkölaitteille. Tila on varustettu vuodonilmaisimella ja vedenpoistolinjalla. Tiiviste-elementtien vaihto onnistuu laipiossa olevien kolmen aukon kautta, jotka normaalisti on peitetty luukuilla (kuva 29). (ABB Shaft Seal Modernization 2011.)

Järjestelmän kriittisin tiiviste sijaitsee ohjausyksikössä (kuva 4), on niin ikään uudistettu. Se on suunniteltu mahdollisimman helpoksi ja nopeaksi vaihtaa. Aluksesta riippuen se voidaan jopa vaihtaa ilman kuivatelakointia siten, että alusta trimmaamalla saadaan perää sen verran nostettua ylös, jotta tiivisteeseen päästään käsiksi. (ABB, Azipod Propeller Shaft Seal Modernization 2011.)



Kuva 29 Tiivisteiden vaihto podin sisältä käsin (ABB Next Generation Azipod Steering to Success 2011, 6)

#### 6.4.1.4 Laakerointi

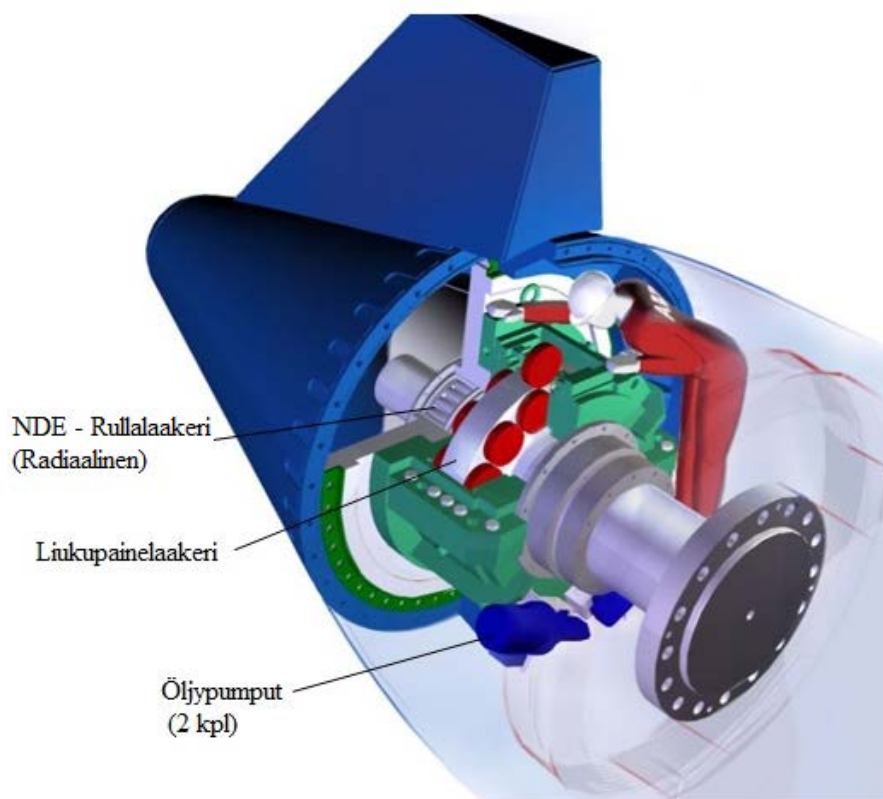
Kuten tiivisteratkaisuissakin, niin myös laakeroinnissakin on pyritty minimoimaan elinkaarikustannuksia, minkä takia laakerointi on osittain suunniteltu uudelleen. DE-kannatuslaakerina käytetään edelleen luotettavaksi osoittautunutta rullalaakerityyppiä, mutta painelaakeri on suunniteltu kokonaan uudelleen. Siinä on yhdistetty NDE-kannatus- ja painelaakeri samaan pakettiin, josta käytetään myös nimitystä hybridilaakeri. (ABB Marine 2009.)

Radiaalinen kannatuslaakeri on tyypiltään rullalaakeri ja painelaakerina on liukulaakeri, joka ottaa vastaan aksiaalisesti syntyvät voimat molempiin suuntiin. Rakenteellisesti uusi malli on pyritty tekemään mahdollisimman yksinkertaiseksi, mikä helpottaa huoltoa ja on vähemmän vikaantumisherkkä. Se voidaan myös asentaa vanhempiin malleihin jälkiasennuksena. (ABB Marine 2009.)

Kummankin pään laakerit ovat roiskevoideltuja ja molemmissa päissä on kahdennetut voiteluöljypumput. Normaalisti käytössä on yksi pumppu laakeria kohden, mutta mi-

käli paine pääsee laskemaan liian alas, niin toinen pumppu käynnistyy automaattisesti. Laakereilla on omat erilliset öljypiirinsä, jotka kiertävät laitehuoneessa olevan, niin sanotun SSU (Shaft line Support Unit) -yksikön kautta. SSU-yksikössä tapahtuu öljyn jäähdytys ja suodatus, sekä mahdollinen öljyn laadun valvonta. (ABB Marine Azipod XO 2010.)

Painelaakeri on suunniteltu niin, että se voidaan huoltaa merellä (kuva 30). Aikaisemmissa malleissa kyseinen huolto vaati kuivatelakoinnin ja koko propulsioyksikkö jouduttiin avaamaan. Uudessa mallissa laakerielementteinä toimivat valkometallipintaiset pyöreät palat voidaan vaihtaa uusiin propulsioyksiköstä käsin. (ABB Marine Azipod XO 2010.)



Kuva 30 Painelaakerin huolto merellä (ABB Marine Next Generation Azipod Steering to Success 2011, 7, muokattu)

#### 6.4.2 Alusreferenssit

Azipod X -sarja esiteltiin vuonna 2009, joten sitä ei ole vielä keritty asentamaan kovinkaan moneen alukseen. Ensimmäiset kaksi 17,5 MW:n tehoista XO2100 Azipodia, asennettiin vuonna 2012 valmistuneeseen Celebrity Reflection-risteilyalukseen. Sa-

manlaisella laitteistolla varustettiin myös 2013 valmistunut Norwegian Breakaway-risteilijä. (ABB Marine 2013.)

Ensimmäiset XC2100-malliset 12,9 MW:n yksiköt asennettiin kahteen Japanilaiseen Ropax alukseen, Sulseniin ja Suzuraniin vuonna 2012. XC-mallilla tarkoitetaan CRP (Contra Rotating Propellers) -sovellusta, jossa on yhdistetty X-mallin Azipodi ja perinteisen akselijohdon päässä oleva potkuri. Potkurien navat ovat asetettu samaan linjaan keskenään ja pyörivät toisiinsa nähden vastakkain. Kaiken kaikkiaan X-sarjan yksiköitä on asennettu tai tilattu 16 kappaletta yhdeksään eri alukseen, joista seitsemän on risteilijöitä. (ABB Marine 2013.)

## 6.5 CRP-konsepti

Vuonna 2002 ABB julkisti kokonaan uudenlaisen CRP-potkuriratkaisun (kuva 31). CRP (Contra-Rotating Propeller) -ratkaisussa on kaksi vastakkain olevaa ja vastakkaisiin suuntiin pyörivää potkuria. Azipod-yksikkö asennetaan perinteisen potkurin taakse peräsimen paikalle. (ABB Oy 2007.)

Vastakkain pyörivien potkurien etuna on, että yhden potkurin kuormitus saadaan jaettu kahdelle vastakkaisiin suuntiin pyörivälle potkurille. Tällöin takimmainen potkuri ottaa talteen etummaisesta potkurin rotaatiohäviön. Kuormituksen keveneminen ja rotaatiohäviöiden talteenotto parantavat potkurijärjestelmän hyötysuhdetta, joka on CRP-järjestelmällä jopa 10-15 prosenttia parempi, muihin perinteisiin potkurijärjestelmiin verrattuna. (ABB Oy 2007.)

CRP -järjestelmä sopii erityisesti aluksiin, joiden potkureilta vaaditaan suurta tehontuottoa ja laivalta normaalia kovempaa nopeutta. Tällaisia ovat esimerkiksi tietyt ropax -alukset, suuret konttilaivat ja nesteytettyä kaasua kuljettavat isot LNG (liquefied natural gas) -tankkerit. Koska Azipod -laitetta voidaan kääntää ja potkurin työntöä suunnata tarpeen mukaan, ratkaisu on todettu tehokkaaksi myös satama-alueilla. (ABB Oy 2007.)



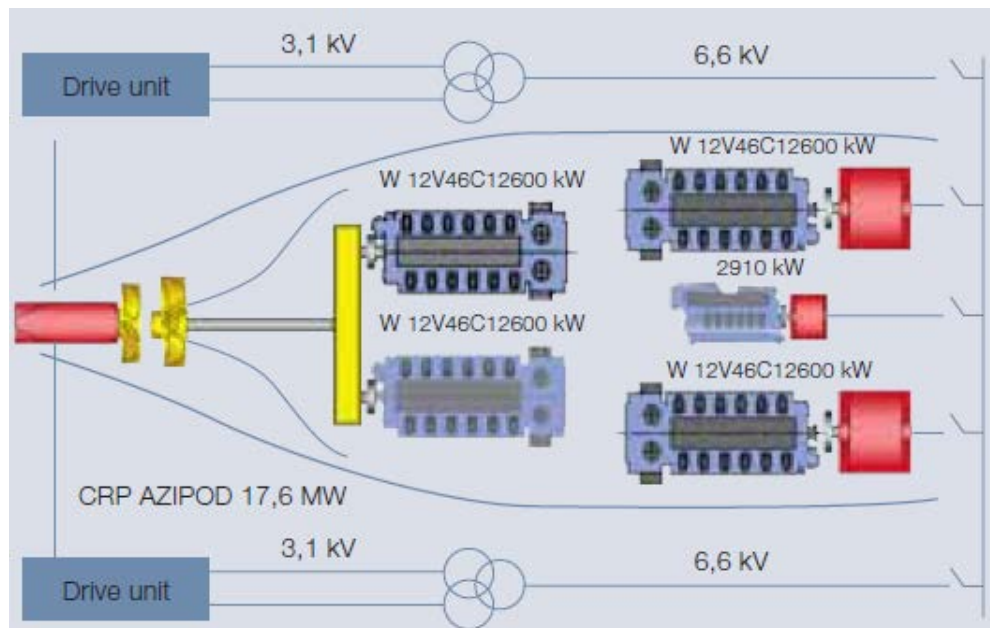
Kuva 31 Ropax -aluksen CRP - potkurijärjestely (JBU 2010)

### 6.5.1 Ensimmäiset CRP-konseptin alukset

Vuonna 2004 valmistui ensimmäiset CRP-konseptin alukset. Tilaajana oli japanilainen ShinNihonkai Ferry-varustamo ja ne rakennettiin Mitsubishi Heavy Industriesin telakalla. Tilaus käsitti kaksi nopeaa 224,5 metristä ja 34 100 GT:n ropax-alusta, Akashian ja Hamanasun, jotka olivat Japanin suurimmat alukset luokassaan. (Anderson & Hackman 2006.)

Perinteisistä ropax-aluksista ne eroavat korkean nopeuden suhteen, joka on maksimissaan 32 solmua. Tämä mahdollistaa sen, että kaksi nopeaa alusta (keskinopeus 30.5 solmua) kykenee korvaamaan kolme hitaampaa alusta (keskinopeus 20 solmua), samalla reitillä.

Nopeuden lisäys tarkoittaa luonnollisesti myös lisääntyneitä polttoaineen kulutusta ja nostaa näin suoraan operointikustannuksia. Polttoainekulujen leikkaus oli juuri se syy miksi kyseisiin laivoihin valittiin CRP-laitteisto (kuva 32). ABB oli laajoissa testeissä todennut, että CRP-ratkaisulla olisi mahdollista säästää polttoainekustannuksissa noin 10 % verrattuna vanhempiin samalla reitillä kulkeviin aluksiin, joissa on kaksi perinteistä potkuria ja ns. twin skeg-rakenne. Toinen parannus oli lastikapasiteetin kasvaminen 15 %:lla, jonka mahdollisti uuden propulsiokoneiston tuomat rakenteelliset edut. (Anderson & Hackman 2006.)



Kuva 32 Akashian ja Hamanasun propulsiokoneisto (Anderson & Hackman 2006)

Aluksiin valittiin VC2100-tyypin 17,6 MW:n Azipodi, jossa on 4,8 metrinen ja viisi-lapainen kiinteäsiipinen potkuri. Perinteisen akselijohdon päässä (kuva 32) oleva nelilapainen potkuri on 5,6 metriä halkaisijaltaan ja se on tyypiltään säätösiipinen. Kokonaistehoa on yhteensä 42,8 MW, joka jakautuu siten, että Azipodi tuottaa siitä 40 % ja säätösiipipotkuri 60 %. (Anderson & Hackman 2006.)

Usean kuukauden käytön jälkeen huomattiin polttoainekulutuksen laskeneen 20 % verrattuna vanhempiin aluksiin 573 merimailin pituisella reitillä, mikä oli puolet enemmän mitä laskelmissa oli arvioitu. Hydrodynaaminen tehokkuus taas parani 10 - 15 %. Toinen CRP-laitteistolla saavutettu etu oli parantuneet manoveerausominaisuudet, jotka mahdollistivat operoinnin satamassa jopa 18 m/s tuulessa ilman hinaajan avustusta. (Anderson & Hackman 2006.)

Aluksien suorituskykyyn oltiin ilmeisen tyytyväisiä, sillä samainen varustamo tilasi vuonna 2011 kaksi CRP -laitteistolla varustettua alusta lisää korvaamaan vanhimmat alukset. Huippunopeus pudotettiin 27,5 solmuun, joten koneistoakin kevennettiin sen mukaisesti, näin ollen aluksiin riitti pienempi 12,9 MW:n (XC2100) Azipodi. (Anderson & Hackman 2006.)



## 6.5.2 Ison kokoluokan konttilaivat

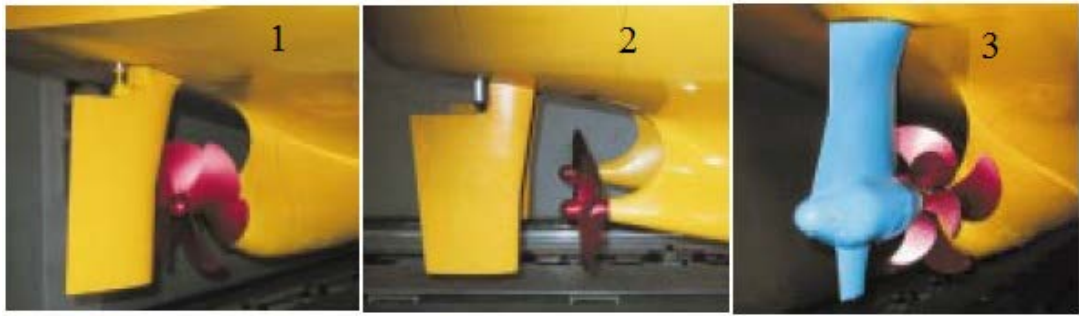
Tällä hetkellä ainoat CRP-järjestelmät on asennettu neljään ropax-alukseen. Kuitenkin yhtenä merkittävimpänä kohdealueena pidetään suuria konttilaivoja. Näillä aluksilla, jotka vetävät yli 9000 standardikonttia (TEU), kuljetetaan huomattava osa maailman mannerten välisestä rahdista. Uusille propulsioratkaisuille, kuten CRP-järjestelmälle, on siis olemassa selvä markkinarako, mikäli se saadaan myytyä varustamoille ja telakoille.

Trendinä on ollut pitkään rakentaa aina vaan suurempia aluksia, joissa on enemmän konttikapasiteettia. Tällä on pyritty vähentämään rahdin kuljetuskustannuksia kyseisellä erittäin kilpaillulla kuljetussektorilla. Näin ollen vanhemmat pienet alukset korvataan vähitellen uusilla isoilla aluksilla, jotka ovat tehokkaampia polttoainetaloudellisesti. Myös ympäristönäkökohdat otetaan tänä päivänä, tiukentuvien säädösten sekä imago syistä, paremmin huomioon, mikä ei niin ikään suosi vanhaa tekniikkaa. Tällä hetkellä 12 000 TEU:n laivat ovat jo arkipäivää ja jopa yli 20 000 TEU:n aluksia on suunniteltu.

Aluskoon kasvaessa, myös koneiston pitää kasvaa, mikäli nopeutta ei haluta pudottaa. Tavallisesti isojen +12 000 TEU:n (ULCS) konttilaivojen normaali ajonopeus on 24 solmun paikkeilla. Nämä +150 000 DWT:n ja noin 350 metriset alukset vaativat propulsioitehoa 75-80 MW. Tyypillinen koneisto on iso kaksitahtinen dieselmoottori, johon on perinteisen akselijohdon päähän kytketty iso kiinteäsiipinen potkuri.

### 6.5.2.1 Perinteiset propulsioratkaisut

Tällä hetkellä suurin em. koneistolla varustettu alus on CMA CGM Marco Polo, johon mahtuu noin 16 000 konttia ja se on 396 metriä pitkä. Pääkoneena on 80 MW:n Wärtsilän 14 sylinterinen RT-flex96C, joka pyörittää halkaisijaltaan lähes 10 metristä potkuria. Tämä alkaa hipoa potkurin maksimikokoa kyseisen tyypin laivoissa, sillä tätä isompien potkurien siipien kärkien nopeus ylittää järkevät rajat ja niiden valmistaminen on hankalaa. Hydrodynaamisesti kyseinen ns. single-skeg-tyyppinen peräratkaisu (Kuva 33) on todettu tehokkaaksi, mistä syystä se onkin laajalti käytössä. (CMA CGM Marco Polo. 2012.)



Kuva 33 Vaihtoehtoisia konttilaivan perärakenteita 1. Single-skeg 2. Twin-skeg 3. CRP -Azipod (ABB The CRP Azipod Propulsion Concept 2001, 6 muokattu)

Toinen täysin mekaaninen vaihtoehto on käyttää ns. twin-skeg-rakennetta (kuva 33), jossa on kaksi potkuria peräsimineen. Potkurit saava tehonsa omista kaksitahtisista dieselmootoreista. Tällainen järjestely on hydrodynaamisesti haastava ja myös kallis toteuttaa. Heikompi hydrodynaaminen tehokkuus tarkoittaa sitä, että konetehoa joudutaan lisäämään. Toisaalta kaksi isohkoa pääkonetta tarjoaa kyllä riittävästi tehoa, jota tarvitaan kun aluskoko kasvaa riittävän suureksi.

Näissä todella ison kokoluokan aluksissa yhden potkurin järjestelmästä ei välttämättä saada järkevästi tarpeeksi tehoa irti. Näin ollen mahdollisuutena on käyttää joko kahden mekaanisen akselijohdon ratkaisua (Twin-skeg) tai CRP-järjestelyä riittävän tehon tuottamiseksi. (ABB, CRP Azipod for Ultra Large Container Ships An Advanced Cost-Effective Solution)

#### 6.5.2.2 CRP-ratkaisu

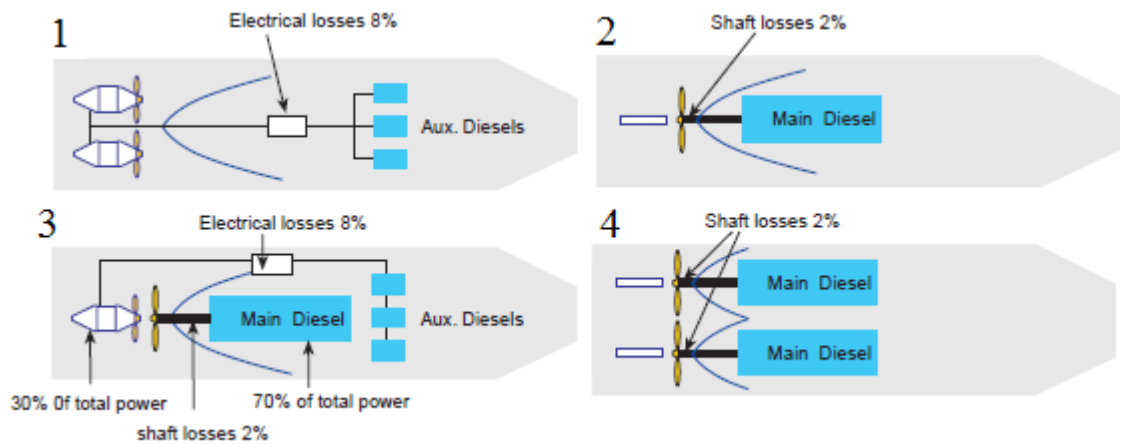
CRP-laitteistolla varustettuja konttilaivoja ei ole vielä rakennettu ainuttakaan, näin ollen laitteiston toimivuudesta voidaan esittää ainoastaan valistuneita arvioita, laskelmia ja pienen mittakaavan testituloksia. Syyt miksi kyseistä konseptia ei ole otettu käyttöön ovat varmasti moninaiset, mutta yhtenä merkittävänä syynä voidaan pitää meriteollisuuden ja varustamojen halua pitäytyä vanhoissa koetelluissa ratkaisuisissa. Vaikka Azipodilla itse laitteena on hyvä "track record" luotettavuudessa, niin näytöt toimivuudesta CRP-laivoista ovat kuitenkin varmasti liian vähäiset. Usein myös aluksia tilataan sarjana useampi kappale, jolla saadaan valmistuskustannuksia hieman pudotettua. Uudenlaista järjestelmää tuskin halutaan heti asentaa useampaan laivaan, ennen kuin siitä on kertynyt tarpeeksi käyttökokemuksia, joten tästäkin syystä se helposti jää pois realistisista vaihtoehdoista.

Ominaisuudet, joilla CRP:tä markkinoidaan konttialuksiin, ovat pitkälti samoja, joita esiteltiin dieselsähköistä konehuonetta esittelevässä kappaleessa (ks. 4.2). Kuitenkin merkittävin etu saadaan tehokkuuden kannalta erittäin suurissa (ULCS) konttialuksissa (+16 000 TEU) siinä, että se mahdollistaa hydrodynaamisesti tehokkaan single-skeg -rakenteen, eikä siten tarvitse käyttää twin-skeg -tyyppistä ratkaisua.

Azipodin avulla myös ohjattavuus paranee varsinkin hitaissa nopeuksissa, joten hinaajien avustusta ei välttämättä tarvita. Tämä vähentää operointikustannuksia ja samalla kahden potkurin järjestelmällä saadaan lisättyä koneiston redundanttisuutta, sillä kulku on kahden erillisen järjestelmän varassa (mekaaninen ja sähköinen). Tosin matkankeko kyllä hidastuu, mutta ei kokonaan pysähdy tilanteessa, jossa jompikumpi järjestelmistä vikaantuisi. (ABB Marine, CRP Azipod for Ultra Large Container Ships- An Advanced Cost-Effective Solution)

Vaikka osittain dieselsähköinen CRP-järjestelmä parantaa redundanttisuutta ja mahdollistaa hiukan vapaamman koneiston sijoittelun, on se myös toisaalta samalla varustamoiden silmissä haittatekijä, sillä se monimutkaistaa koneiston rakennetta ja nostaa näin kustannuksia. Dieselgeneraattorien polttoainetehokkuus on myös jonkin verran heikompi verrattuna isoihin kaksitahtisiin moottoreihin ja tehohäviöt moottorilta potkurille ovat niin ikään suuremmat. Toisaalta 60 -70 % propulsiotehosta saadaan kaksitahtisesta pääkoneesta, joten sähköisen propulsioon suuremmat häviöt (kuva 34) eivät nouse kokonaisuuden kannalta kovin suuriksi. (GSF Container Ship Concept study 2009, 53.)

Konttilaivojen kasvun myötä myös kylmäkuljetukset lisääntyvät merkittävästi. Suurilla laivoilla ei kylmäkonttien vaatimaa sähkötehoa voida enää kunnolla toteuttaa matalajänniteverkolla. Tällöin voimalaitoskonseptilla toteutettu CRP Azipod-järjestelmä lisää konttilaivojen sähköverkon joustavuutta, sillä sähköntuotantokapasiteettia on enemmän. (ABB Oy. 2007. Azipod- laivojen potkurijärjestelmien edelläkävijä)



Kuva 34 Erilaisten koneistoratkaisujen tehohäviöt: 1. 2 kpl Azipodeja 2. Single-skeg 3. CRP 4. Twin-skeg (ABB Marine The CRP Propulsion Concept 2001, 7)

## 7 AZIPOD-LAITTEIDEN KEHITYS

Azipod ja siihen liittyvät muut oheisjärjestelmät ovat kehittyneet melkoisesti ensimmäisestä prototyypistä. Käytettävyyttä ja huollettavuutta on parannettu, varustamojen toiveiden mukaisesti. Kuitenkin varustamojen kannalta merkittävimmät seikat liittyvät luotettavuuteen ja tehokkuuteen, sillä niillä on suora vaikutus käyttökustannuksiin. Ensimmäisten risteilijäsovellusten myötä alettiin kiinnittämään erityistä huomiota tehokkuuteen vaikuttaviin seikkoihin, mikä paransi Azipodin kilpailukykyä muihin järjestelmiin nähden.

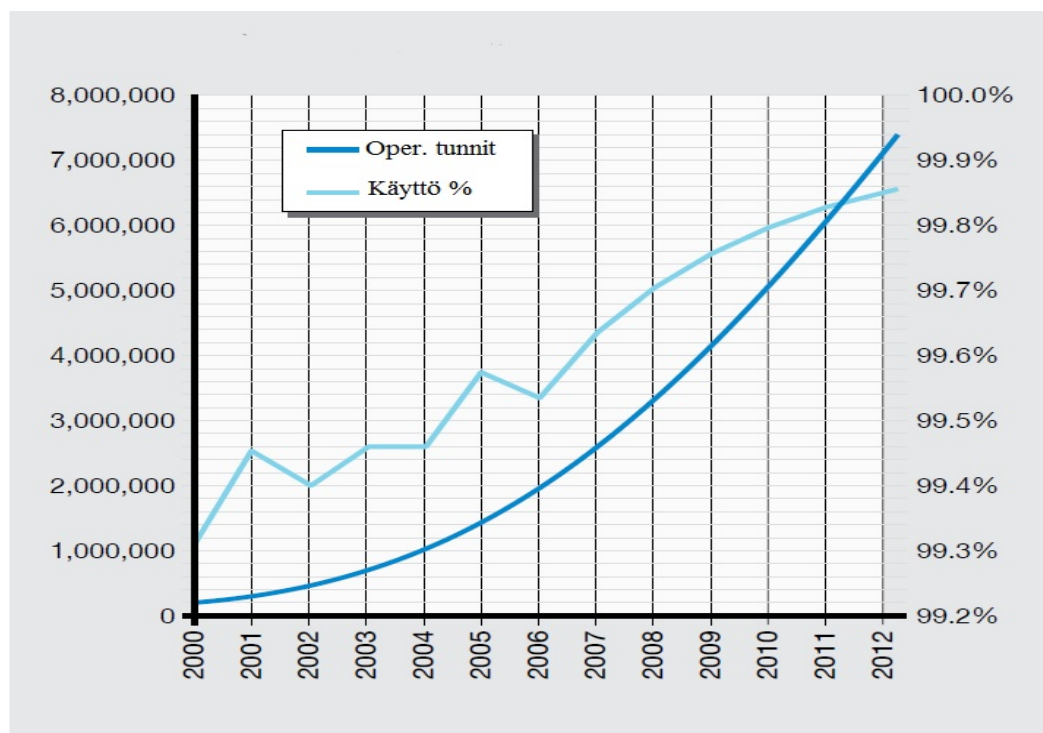
### 7.1 Toimintavarmuus

Aluksien propulsioratkaisuiden yhtenä tärkeimpänä valintaan vaikuttavana tekijänä on toimintavarmuus, sillä se vaikuttaa suoraan operointikustannuksiin ja se on merkittävä turvallisuustekijä. Varustamot ja meriteollisuus ovat tunnetusti varsin konservatiivisia mitä tulee koneistojen valintaan, joten uusien järjestelmien on vaikea saada jalansijaa kyseisillä markkinoilla. Asiaa vaikeuttaa vielä huomattavasti, mikäli uudessa järjestelmässä ilmenee luotettavuusongelmia. Näin kävi Azipod -laitteistonkin kohdalla, kun 2000-luvun alussa Carnival Cruise varustamon risteilijöiden V-sarjan Azipodeissa ilmeni ongelmia potkuriakselin laakereissa. Vikaa tutkittiin ja päädyttiin siihen, että koko V -sarjan laakerointi päätettiin uusiksi. Samoihin aikoihin myös Rolls-Roycen

Mermaid-laitteissa ilmeni isoja ongelmia, joka omalta osaltaan heikensi sähköisen ruoripotkurin yleistä kiinnostavuutta. (South Florida Business Journal 2000.)

Alkupään ongelmien jälkeen Azipod-laitteissa ei ole kokonaisuudessa suurempia vikoja ilmennyt. Luotettavuus on parantunut vuosin mittaen, mihin on vaikuttanut monet eri tekijät. Tällä hetkellä (tilanne 2013) kumulatiivisesti kertyneitä käyttötunteja on kaiken kaikkiaan vajaa kahdeksan miljoonaa ja toimintavarmuus on 99,85 %:n luokkaa (ks. kuva 35). Käyttötuntien karttuessa on saatu tietoa laitteiston osista jotka vaativat päivitystä, joita on tehty tarpeen mukaan. Ajan myötä myös eri järjestelmien diagnostiikkaan liittyvä tekniikka on kehittynyt, joten esim. kunnonvalvonta voidaan suorittaa tehokkaammin ja ennakkohuollon tarve arvioida tarkemmin. (Varis 2012.)

Compact Azipodit ovat osoittautuneet käytössä erityisen luotettaviksi ja niissä ei ole isompia vikoja ilmennyt lainkaan. Osaksi tästä syystä sen tekniikkaa käytettiin myös pohjana X-sarjassa, jonka suunnittelun lähtökohtana oli minimoida laitehäiriöistä johuttavaa off-hire aika. X-sarjan laitteista ei ole vielä kertynyt pitkän aikavälin kokemuksia, joten sen toimintavarmuutta ei voida vielä sen tarkemmin arvioida. (Varis 2012.)



Kuva 35. Azipodin käyttötuntien ja toimintavarmuuden kehitys (Varis 2012, muokattu)

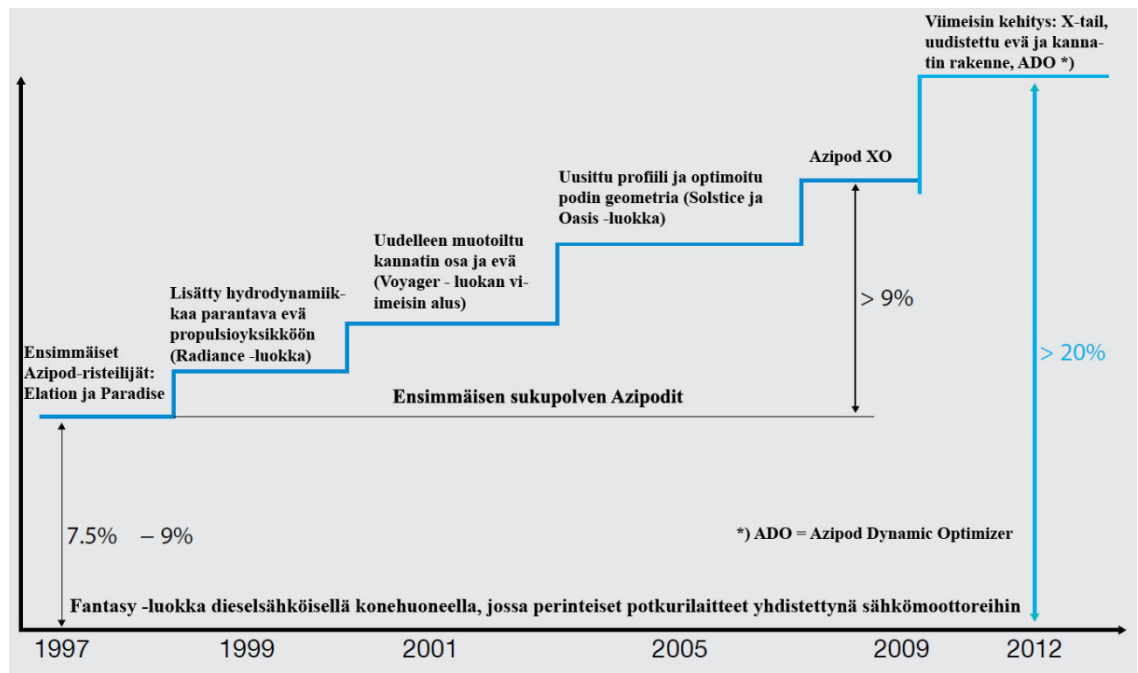
## 7.2 Tehokkuuteen liittyvät parannukset

Ensimmäisillä risteilijöihin asennetuilla Azipodeilla saatiin tehokkuutta parannettua noin 9 %, perinteisiin ratkaisuihin verrattuna. Vaikka silloinen laitteisto oli edistykseellinen monessa suhteessa, se ei tarkoittanut sitä, että siinä ei olisi ollut parannettavaa. Vuosien mittaan järjestelmän prosessien ymmärrys on parantunut ja tekniikka kehittynyt, joten tehokkuutta on kyetty lisäämään monissa eri paikoissa (ks.kuva 35). Merkittävimmät tehokkuuteen liittyvät parannukset on tehty hydrodynaamisissa ominaisuuksissa, sillä mekaanisia ja sähköisiä häviöitä ei voida enää juuri vähentää. Runkorakenteiden virtaviivaisuuteen liittyviä tekijöitä pystyttiin paremmin optimoimaan kehittyneen mallinnuksen ja testien pohjalta. (Varis 2012.)

Ennen risteilijäsovelluksia ensimmäinen merkittävä parannus oli asentaa Azipodit vetäviksi, näin laitteen omat runkorakenteet eivät pääse häiritsemään veden virtausta potkurille. Myös podin virtaviivainen rakenne parantaa edessä pyörivän potkurin hyötysuhdetta, mikä tunnetaan ns. costa bulb-ilmiönä. Myöhemmin risteilijäsovellusten määrän kasvun myötä, hydrodynamiikkaan kiinnitettiin erityistä huomiota, sillä pienetkin parannukset tehokkuudessa tuovat merkittäviä säästöjä vuositasolla polttoainekustannuksissa. (ABB Oy 2011.)

Vuosien mittaan runkorakennetta ja kannattimia on virtaviivaistettu, sekä joitain rakenteita on lisätty, kuten propulsioyksikön pohjaan lisätty evä. Evärakenteella saatiin parannettu tehokkuutta jonkin verran ja sen muotoa on vielä vuosien varrella optimoitu tarkoitukseen sopivammaksi. Eräs uudempi isompi rakenteellinen uudistus on, vuonna 2011 käyttöön tullut ns. X-tail, joka on podin hydrodynamiikkaa parantava päivityspaketti (ks. kappale 7.2.1).

Toinen merkittävä viimeaikainen uudistus on järjestelmän operointia parantava Azipod Dynamic Optimizer (ADO). Se on ohjelma, jonka tarkoitus on tehostaa Azipodien käyttöä eri ajotilanteiden mukaan. (Varis 2012.)



Kuva 36. Azipodien tehokkuuden kasvu ja siihen vaikuttaneet uudistukset (Varis 2012, muokattu)

### 7.2.1 X-tail

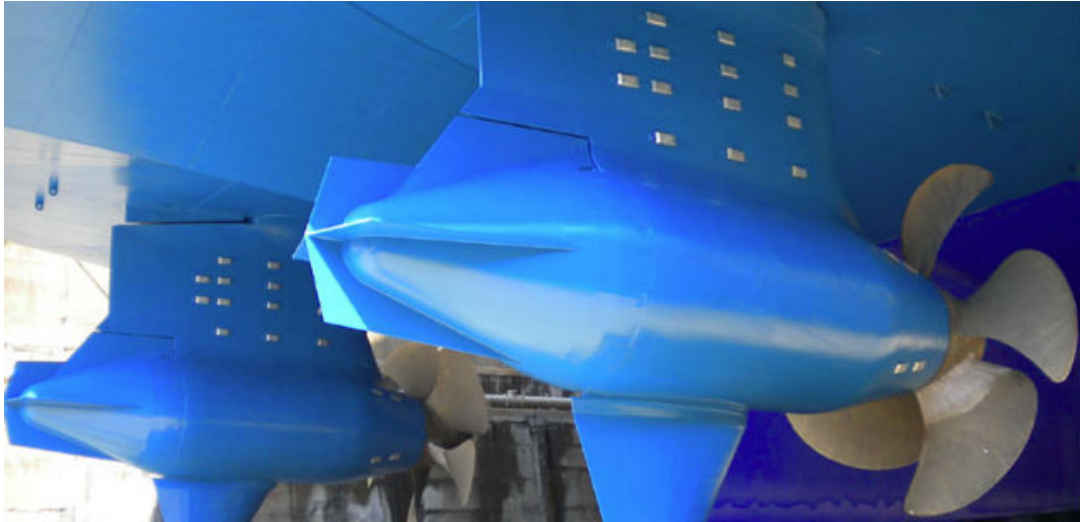
Vuonna 2011 esiteltiin uusi podirakenteen hydrodynaamista tehokkuutta parantava-päivityspaketti, jota nimitetään X-tailiksi. Se sisältyy uusiin XO-sarjan Azipodeihin vakiona ja se voidaan myös jälkiasentaa vanhempiin avovesimalleihin. Paketti pitää sisällään x-kirjaimen muotoisen levyrakenteet, jotka kiinnitetään vanhaan kartion muotoiseen peräkappaleeseen (ks. kuva 37). Myös podin alla oleva evä vaihdetaan uuteen, epäsymmetriseksi muotoiltuun versioon. (Varis 2012.)

Uusi evän muotoilu parantaa hyötysuhdetta noin prosenttiin verran, koska potkurilta tuleva virtaus osuu siihen virtausteknisesti edullisemmässä kulmassa ja kaareva muotoilu ohjaa veden virtausta entistä tehokkaammin. (Varis 2012.)

X-tail-rakenne parantaa hyötysuhdetta entisestään vielä noin 1,5 prosenttia. X-muotoinen levyrakenne "suoristaa" potkurilta tulevan veden virtausta ja vähentää näin jarruttavaa veden pyörteilyä. (ABB Oy 2011.)

Ensimmäinen alus, johon X-tail asennettiin oli RCCL:n Radiance of the Seas-risteilyalus, johon muutostyöt tehtiin kesällä 2011. Viiden kuukauden tarkastelujakson aikana havaittiin, että tehokkuus parani 2 prosenttia, verrattuna muihin saman alussar-

jan laivoihin, joihin ei vielä ollut kyseistä modifiointia tehty. (Marinelink.com, Cruise Ship Technology: Azipod Efficiency Gains 2% 2012)



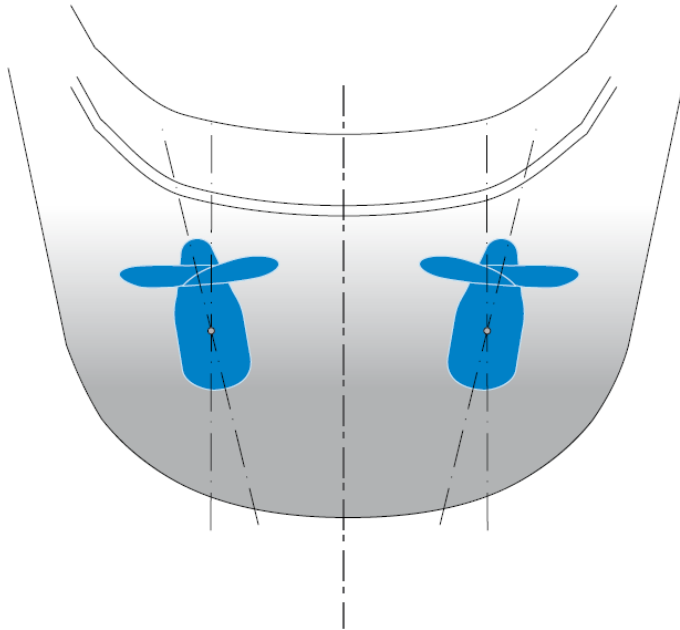
Kuva 37. X-tail -rakenteet asennettuna Radiance of the Seas -risteilyaluksen VO -mallin Azipodeihin (ABB Oy 2011)

### 7.2.2 Azipod Dynamic Optimizer

Azipod Dynamic Optimizer (ADO) on vuonna 2011 käyttöön otettu ohjelmaoperusteinen Azipodien käytön optimointijärjestelmä. Se on suunniteltu käytettäväksi aluksissa, joissa on kaksi tai kolme Azipod-yksikköä. Sen tehtävä on tarkkailla ja optimoida podien ns. kohtauskulmaa (toe angle) vallitsevien olosuhteiden mukaan. (ABB Oy 2011.)

Optimaaliset kulmat eri tilanteisiin ovat ennalta määritetyt ja ne perustuvat mallinnuslaskelmiin, joissa on huomioitu aluksen nopeuden vaikutus kohtauskulmaan. ADO tarkkailee Azipodien asentoa (ks. kuva 38), aluksen nopeutta ja muita oleellisia tietoja eri lähteistä lähettäen samalla tietoa varsinaiseen ohjausjärjestelmään, joka tarvittaessa kääntää yksiköitä asetettujen turvarajojen puitteissa. Järjestelmä on täysin automaattinen eikä sitä normaalikäytössä tarvitse mitenkään huomioida. Ohjelma kerää tietoa järjestelmän ohjauksesta, jota jälkikäteen voidaan analysoida. Polttoainekuluja ADO:n on arvioitu vähentävän 1,5 prosentin verran. (ABB Oy 2011.)





Kuva 38. Azipodien kohtauskulman havainnollistaminen (ABB Dynamic Optimizer 2011)

### 7.3 Tulevaisuuden näkymät

Azipod-järjestelmien varsinainen läpilyönti kaupallisessa merenkulussa tapahtui ensimmäisten risteilysovellusten myötä, joissa ne nykyään ovat varsin kilpailukykyisessä asemassa. Tulevaisuudessa tilanteen odotetaan vielä paranevan kun varustamot uudistavat laivakantaansa. Hiukan myöhemmin markkinoille tuli myös Compact-malli, joka mahdollisti järjestelmän asentamisen laajempaan skaalaan eri aluksia. Tämä oli hyvin tärkeää, jotta saatiin erityyppin referenssialuksia liikenteeseen. Niistä saatu kokemus auttoi jatkokehittämissä ja samalla ne markkinoivat uutta laitteistoa muille varustamoille.

#### 7.3.1 Suuret konttilaivat

Vaikka Azipodeja on käytössä monissa erilaisissa aluksissa, on kuitenkin alustyyppiä, joissa se ei ole vielä lyönyt läpi. Näistä yhtenä tärkeimpänä, ABB Oy pitää isoja konttilaivoja (ULCV), joita käsiteltiin kappaleessa 6.5.2. Kyseinen alussegmentti käsittää todella suuren määrän laivoja, joten pääsy kyseisille markkinoille saattaisi jatkossa tuoda merkittävän määrän laitetilauksia. (ABB Oy 2007.)

CRP-järjestelmä koki kuitenkin pienen kolauksen vuonna 2011, kun maailman suurin rahtilaivavarustamo Maersk päätti tilata 20 kappaletta reilun 18 000 TEU:n alusta (Maersk Maritime Technology). Kyseisessä kokoluokassa ei enää järkevällä tavalla voida käyttää yhden potkurin järjestelyä, joten CRP olisi mahdollisesti voinut olla sopeva ratkaisu, mutta kyseisiin aluksiin valittiin kuitenkin kahden potkurin twin-skeg-rakenne, kaksine isoine pääkoneineen. Yhtenä syynä tähän varmasti oli ajonopeuden laskeminen edeltäjien 25 solmusta, 23 solmuun, jolloin runkorakenteen muodon merkitys vähenee. Toisaalta osittain dieselsähköinen CRP-järjestelmä olisi ollut jonkin verran kalliimpi vaihtoehto, mikä oli varmasti merkittävin yksittäinen tekijä.

### 7.3.2 LNG-tankkerit

Toisena kiinnostavana kohteena pidetään LNG-tankkereita, joissa voitaisiin niin ikään käyttää CRP-laitteistoa. Lisääntynyt kaasun kulutus ympäri maailmaa kasvattaa samalla kaasun merikuljetusten määrää. Yhtenä mahdollisena merkittävänä kuljetuksia lisäävänä tekijänä on Yhdysvaltojen liuskekaasuvarantojen hyödyntäminen ja siitä saadun kaasun myynti mm. Eurooppaan, jolloin kuljetus joudutaan toteuttamaan laivoilla. (ABB Oy 2007.)

Perinteisesti LNG-tankkereissa käytetään höyryturbiinikoneistoa, jollaisiin on nykyään hankala löytää osaavaa miehistöä. Höyryturbiinikoneisto on myös hyötysuhteeltaan heikompi kuin esimerkiksi vastaavan tehoinen dieselsähköinen järjestelmä. Kuten isoissa konttilaivoissa, myös kaasutankkereissa kuljetuskapasiteetti on kasvanut ja odotetaan vielä kasvavan tulevaisuudessa. Sitä mukaa aluskokokin luonnollisesti kasvaa, jolloin niissäkin saattaisi olla järkevää käyttää CRP-laitteistoa, samoilla argumenteilla kuin isojen konttilaivojenkin kohdalla. Dieselsähköisiä LNG-tankkereita on jo liikenteessä, mihin ABB on toimittanut sähköiset propulsiolaitteet, mutta ne varustettiin perinteisellä akselijohdolla. (ABB Oy 2007.)

### 7.3.3 Arktinen merenkulku

Pohjoisten arktisten alueiden käytön odotetaan lisääntyvän tulevaisuudessa, johtuen siellä olevista luonnonvaroista, kuten öljystä ja kaasusta. Koillisväylän ja Luoteisväylän hyödyntäminen kaupallisessa liikenteessä, tulee samalla kasvamaan merkittävästi. Kyseisillä alueilla toimiminen vaatii aluksilta hyviä jäänmurto-ominaisuuksia, varsinkin talvikausina.

Azipodeilla varustetut alukset ovat osoittautuneet erittäin toimiviksi kovimmissakin jääolosuhteissa, joita arktisella alueilla on suurimman osaa vuodesta. Toimintaa turvaamaan tarvitaan iso joukko erilaisia erikoisaluksia, kuten jäänmurttajia ja huoltoaluksia, joissa Azipodeja on käytetty pitkään ja tullaan jatkossakin käyttämään. Erikoisalusten lisäksi myös perinteiset kaupalliset alukset, kuten rahtilaivat ja tankkerit, joutuvat operoimaan hankalissa jääolosuhteissa. Tästä syystä tulevaisuudessa tullaan mahdollisesti näkemään entistä enemmän Azipodeilla varustettuja kaksitoimisia aluksia, jotka pystyvät itsenäisesti operoimaan ilman jäänmurtoavustusta. Se on tärkeää, sillä jäihin kiinni jääminen lisää kuluja off-hire-ajan muodossa ja toisaalta hyvä jäissä operointikyky on samalla turvallisuustekijä. (ABB Oy 2007.)

## 8 YHTEENVETO

Voimalaitosperiaatteen käytön mahdollistuminen laivoissa 1980-luvulla loi edellytykset myös sähköisen propulsiokehitykselle, mikä johti lopulta myös Azipodinjärjestelmän syntyyn. Aluksi Azipod -laitteistoa asennettiin pelkästään jäissä liikkuviin aluksiin, sillä sen suunnittelun lähtökohdat olivatkin juuri hyvissä jäänmurtoominaisuuksissa. Ensimmäiset alusinstallaatiot olivatkin enemmän pilottihankkeita, joilla pyrittiin kehittämään järjestelmää ja samalla uudelle laitteistolle saatiin tärkeitä alusreferenssejä. Vasta kun ensimmäiset risteilysovellukset saatiin myytyä varustamoille, alkoi järjestelmän suosio pikku hiljaa kasvaa. Samoihin aikoihin mallivalikoimaa haluttiin laajentaa myös pienten yksiköiden suuntaan, joten markkinoille tuli uusi Compact -mallisto. Siinä hyödynnettiin ensimmäistä kertaa täysin sähköistä ohjausta, jota hyödynnettiin myös myöhemmin julkistetussa XO -sarjassa. Samalla myös kokonaan uusia aluskonsepteja kehitettiin, kuten DAS- ja CRP -konseptit, joiden suunnittelun lähtökohtana oli Azipodin mahdollistamien etujen hyödyntäminen kulun tehostamiseksi.

Azipod -laitteiden kehityskaari viidentoista viimeksi kuluneen vuoden aikana pitää sisällään monenlaisia rakenteellisia ja teknisiä muutoksia. Monet niistä ovat pieniä parannuksia järjestelmään kuuluvissa laitteistoissa. Tällä on saatu parannettua käytettävyyttä ja luotettavuutta, mikä on näkynyt vuosien mittaan vähentyneenä off-hire -aikana. Merkittävimmät muutokset liittyvät kuitenkin suurempiin rakenteellisiin, tehokkuutta parantaviin seikkoihin, jotka pyrkivät pitämään Azipodin kilpailukykyisenä suhteessa muihin vaihtoehtoisiiin laitteisiin. Tämä on ollut tärkeää erityisesti ison ko-

koluokan risteilijäsovelluksissa, joissa tehokkuus onkin vuosien mittaan huomattavasti parantunut. Uudet suunnittelussa käytetyt mallinnustekniikat ja lisääntynyt ymmärrys laitteiston toiminnasta ovat mahdollistaneet parannukset mm. hydrodynaamisissa ominaisuuksissa. Parannukset eivät ole koskeneet pelkästään uusia laitteita, vaan ne usein on ollut mahdollista jälkiasentaa ns. päivityspakettina vanhoihin laitteisiin, mikä on varmasti ollut vanhempaa aluskantaa omistavien varustamoiden mieleen.

Yhtenä kehitykseen vaikuttavana tekijänä ovat olleet varustamoiden tiukentuneet ympäristövaatimukset, jotka ovat lisänneet vaatimuksia myös tekniikalle. Tärkein ympäristökuormitusta vähentävä tekijä on ollut parantuneen tehokkuuden myötä saavutettu pienempi polttoaineen kulutus. Myös muilla teknisillä ratkaisulla, kuten esimerkiksi uudistetuilla tiivisteratkaisulla, on saatu minimoitua mereen vuotavan voiteluöljyn määrää.

Monet viimeaikaisimmista isommista uudistuksista liittyvät XO -sarjan Azipodin kehityksen yhteydessä tehtyihin muutoksiin, joiden lähtökohtana oli elinkaarikustannusten minimointi. Laakerien ja tiivisteiden huollon mahdollisuus ilman telakointia säästää merkittävästi kustannuksia, kun huollon ei tarvitse välttämättä noudattaa aluksen telakointisykliä. Toisaalta myös kunnonvalvontaan liittyvien automaatiojärjestelmien kehitys on mahdollistanut kriittisten kuluviene osien tehokkaamman tarkkailun ja huoltotöiden tarkemman ajoituksen.

Tämän työn kirjoittamisen aikaan on puhuttu paljon kiistellyn arktisen alueen luonnonvarojen hyödyntämisestä. Tämä tarkoittaa toteutuessaan liikennemäärän kasvua mm. Koillisväylällä, jonka haastavat olosuhteet vaativat aluksilta erityisominaisuuksia. Nykyisin liikennöinti Koillisväylällä on mahdollista ainoastaan lyhyen aikaikkunan sisällä, mikä johtuu kyseisen ajankohdan suotuisista olosuhteista ja silloinkin jäänmurtajasaattueessa. Mikäli aikaikkunaa halutaan pidentää, vaatii se kulkevalta alukselta korkeita jääluokkia. Tällä hetkellä maailmassa on suhteellisen vähän kaupallisen merenkulun tonnistoja, joilla on korkean jääluokitus. Tämä tarkoittaa uusien, erityisesti arktisille alueille suunniteltujen laivojen rakentamista, joissa olisi mahdollisesti iso markkinapotentiaali Azipod -järjestelmille.

Työn aihealue käsittelee sähköistä ruoripotkuria, mutta työ on tehty ABB Oy:n tuotemerkin, Azipodin näkökulmasta, vaikka muitakin valmistajia on. Syynä tähän on Azipodin dominoiva asema kyseisessä laitesegmentissä, ja tästä syystä siitä on tarjolla

muita laitevalmistajia huomattavasti enemmän tietoa. Aihetta on tarkasteltu melko yleisellä tasolla menemättä liikaa yksityiskohtiin, mikä johtuu aiheen laajuudesta. Läheskään kaikkea tietoa ei ole siis voitu laittaa tähän työhön, mutta tarkoitus on ollut käsitellä aihetta mahdollisimman laaja-alaisesti. Parhaiten tietoa löytyi Internetistä valmistajien oppaista ja alan lehdistä, joissa on myös lisätietoja niitä mahdollisesti ha- keville.

## LÄHTEET

ABB Marine. Development of the Azipod System. (Viitattu 23.8.2013). Saatavissa: [http://www.oceanica.ufrj.br/deno/prod\\_academic/relatorios/atuais/MarcelaCruz/relat1/Project%20models/papers/Azipod+presentation.pdf](http://www.oceanica.ufrj.br/deno/prod_academic/relatorios/atuais/MarcelaCruz/relat1/Project%20models/papers/Azipod+presentation.pdf)

ABB Marine. 2001. The CRP Propulsion Concept. (Viitattu 4.10.2013). Saatavilla: <http://imistorage.blob.core.windows.net/imidocs/90580p007%20crp%20azipod.pdf>

ABB Marine. 2009. Azipod XO2100 Product Introduction.

ABB Marine. 2010. Azipod VI Series Product Introduction. (Viitattu: 5.11.2012). Saatavissa: [http://www05.abb.com/global/scot/scot293.nsf/veritydisplay/f524ca488f88beb2c12576e3004a96d8/\\$file/azipod\\_vi\\_project\\_guide\\_v5.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot293.nsf/veritydisplay/f524ca488f88beb2c12576e3004a96d8/$file/azipod_vi_project_guide_v5.pdf)

ABB Marine.2010. Azipod XO The new generation Azipod takes podded propulsion to a new level. (Viitattu 12.9.2013). Saatavissa: [http://www05.abb.com/global/scot/scot293.nsf/veritydisplay/b3d438b1fe5063c8c12576b70048dad2/\\$file/azipod%20xo\\_2010.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot293.nsf/veritydisplay/b3d438b1fe5063c8c12576b70048dad2/$file/azipod%20xo_2010.pdf)

ABB Marine. 2010. Azipod CO Product Introduction. (Viitattu 8.9.2013). Saatavissa: [http://www05.abb.com/global/scot/scot293.nsf/veritydisplay/85d7a5e53e6a8e6ec12577e7002d2359/\\$file/azipod\\_co\\_product%20introduction\\_rev%20c\\_lowres.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot293.nsf/veritydisplay/85d7a5e53e6a8e6ec12577e7002d2359/$file/azipod_co_product%20introduction_rev%20c_lowres.pdf)

ABB Marine. 2010. Azipod Product Platform Selection Guide. (Viitattu 2.10.2013). Saatavissa: [http://www05.abb.com/global/scot/scot293.nsf/veritydisplay/1b13ae404001bd3ec125778a004300ac/\\$file/abb%20-%20azipod%20selection%20guide.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot293.nsf/veritydisplay/1b13ae404001bd3ec125778a004300ac/$file/abb%20-%20azipod%20selection%20guide.pdf)

ABB Marine. 2011. Azipod Dynamic Optimizer. Propulsion Product Services. (Viitattu 14.10.2013). Saatavissa: [http://www05.abb.com/global/scot/scot293.nsf/veritydisplay/c05672587809a99bc1257850002e95ec/\\$file/15529\\_%20azipod%20dynamic%20optimization%20leaflet\\_1.3\\_lowres.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot293.nsf/veritydisplay/c05672587809a99bc1257850002e95ec/$file/15529_%20azipod%20dynamic%20optimization%20leaflet_1.3_lowres.pdf)

ABB Marine. 2011. Azipod Steering Brake Modernization. Propulsion Product Services. (Viitattu 29.10.2012). Saatavissa:

[http://www05.abb.com/global/scot/scot293.nsf/veritydisplay/bbd4ec67120488fec1257850003331f6/\\$file/15423%20steering%20brake%20modernization%2011.3\\_lowres.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot293.nsf/veritydisplay/bbd4ec67120488fec1257850003331f6/$file/15423%20steering%20brake%20modernization%2011.3_lowres.pdf)

ABB Marine. 2011. Next Generation Azipod, Steering to Success. (Viitattu 15.9.2013). Saatavissa:

[http://www05.abb.com/global/scot/scot267.nsf/veritydisplay/501b834667a79eb1852575a7007a0ffe/\\$file/abb\\_next%20generation%20azipod.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot267.nsf/veritydisplay/501b834667a79eb1852575a7007a0ffe/$file/abb_next%20generation%20azipod.pdf)

ABB Marine. 2011. Shaft Seal Modernization. Propulsion Product Services. (Viitattu 15.9.2013). Saatavissa:

[http://www05.abb.com/global/scot/scot293.nsf/veritydisplay/5a6a27fbf2ad176bc1257850002dedde/\\$file/15331%20%20azipod%20propeller%20shaft%20seal%20modernization\\_2.3\\_lowres.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot293.nsf/veritydisplay/5a6a27fbf2ad176bc1257850002dedde/$file/15331%20%20azipod%20propeller%20shaft%20seal%20modernization_2.3_lowres.pdf)

ABB Marine. 2012. Azipod C Propulsion and Thruster Units for 1300 - 4500kW. (Viitattu 9.9.2013). Saatavissa:

[http://www05.abb.com/global/scot/scot293.nsf/veritydisplay/3fcd7b9606275fe5c1257a3300279df1/\\$file/azipod\\_c\\_presentation.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot293.nsf/veritydisplay/3fcd7b9606275fe5c1257a3300279df1/$file/azipod_c_presentation.pdf)

ABB Marine. 2012. Icebreaking vessels Azipod VI propulsion - safe, efficient and environmental navigation in ice. (Viitattu: 4.9.2013). Saatavissa:

[http://www05.abb.com/global/scot/scot293.nsf/veritydisplay/bb132c45a678eebcc12579e500319cd2/\\$file/abb\\_icebreaker%20brochure\\_lowres\\_final\\_17.04.2012.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot293.nsf/veritydisplay/bb132c45a678eebcc12579e500319cd2/$file/abb_icebreaker%20brochure_lowres_final_17.04.2012.pdf)

ABB Marine. 2012. Product Introduction, Azipod XO Azipod XO2100 and XO2300. (Viitattu 13.9.2013). Saatavissa:

[http://www05.abb.com/global/scot/scot293.nsf/veritydisplay/6c1b0250efd18e73c1257a530040dcf2/\\$file/XO2100\\_XO2300\\_Product\\_Intro\\_lowres.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot293.nsf/veritydisplay/6c1b0250efd18e73c1257a530040dcf2/$file/XO2100_XO2300_Product_Intro_lowres.pdf)

ABB Marine. 2013. References - Propulsion Products Azipod Propulsion. (Viitattu 20.9.2013). Saatavissa:

[http://www05.abb.com/global/scot/scot293.nsf/veritydisplay/98a7ddd74d7ecb3bc1257b09004c14ab/\\$file/ABB%20Propulsion%20Products%20reference%20list%202013.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot293.nsf/veritydisplay/98a7ddd74d7ecb3bc1257b09004c14ab/$file/ABB%20Propulsion%20Products%20reference%20list%202013.pdf)

ABB Oy. 2007. Azipod- laivojen potkurijärjestelmien edelläkävijä. Linkkisivu. Internet-sivut. (Viitattu 25.8.2013). Luettavissa:

<http://www.abb.fi/cawp/fiabb255/7a1da3db127bd7b0c2256fdd003f831c.aspx>

ABB Oy. 2011. ABB Azipod hydrodynamic efficiency is improved again by more than 2 percent. Internet-sivut. (Viitattu 17.10.2013). Luettavissa:

<http://www.abb.fi/cawp/seitp202/970490890a6f05ecc12579500031ad6a.aspx>

ABB Oy. 2012. ABB lyhyesti. Internet-sivut.

Aker Arctic. Oblique oil spill Aker Arctic combat icebreaker. (Viitattu: 3.9.2013).

Saatavissa: <http://www.akerarctic.fi/publications/pdf/aker%20arc%20100.pdf>

ABB.2007. Dynamosta Azipodiin- vuosikymmenien kokemukset jäänmurtaajista. Internet-sivut

Aker Arctic. 2013. Aker Arctic brings heavy duty Oblique Ice Breaker to market.

(Viitattu 3.9.2013). Saatavissa: <http://www.akerarctic.fi/Arctic%20Oblique.pdf>

Anderson, L., Hackman, T. 2006. CRP Azipod. Skipping constraints. (Viitattu 30.9.2013). Saatavissa:

[http://www05.abb.com/global/scot/scot271.nsf/veritydisplay/94aa9cee1965090dc12571d900432d64/\\$file/64-67%203m654\\_eng72dpi.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot271.nsf/veritydisplay/94aa9cee1965090dc12571d900432d64/$file/64-67%203m654_eng72dpi.pdf)

Azoulay, N. 2012. Azirec-järjestelmän suunnittelu. Tampereen ammattikorkeakoulu.

(Viitattu 4.8.2013). Saatavissa:

[http://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/40938/Azoulay\\_Natalie.pdf?sequence=1](http://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/40938/Azoulay_Natalie.pdf?sequence=1)

Cavotec. 2007. Marine Propulsion Sliprings. (Viitattu 15.10.2012). Saatavissa:

<http://www.cavotec.com/>



CMA CGM Marco Polo. 2012. The World's largest containership. Internet-sivut. Viitattu 15.10.2013). Luettavissa: <http://www.cmacgm-marcopolo.com/category/cma-cgm/>

Häkkinen, P. 2007a. Laivan koneistot. Espoo: Teknillinen korkeakoulu.

Häkkinen, P. 2007b. Laivasähköverkko. Espoo: Teknillinen korkeakoulu.

Häkkinen, P. 2000. MT Lunni -tutustuminen laivaan Azipod -korjauksen yhteydessä.

Jehkonen, T. 2009. Azimuth -kahvan konseptisuunnittelu. Metropolia.

Juurmaa, K., Mattsson, T., Wilkman, 1995. New Ice Braking Tanker Concept for the Arctic (DAT).

Juurmaa, K., Mattsson, T., Wilkman, G. 2001. The Development of The New Double Acting Ships for Ice Operation. Kvaerner Masa-Yards Arctic Technology. (Viitattu 20.8.2013). Saatavissa: <http://www.akerarctic.fi/publications/pdf/Poac01XNewDAS.pdf>

Karuranta, J. 2004. Azipod Contingency Plan. Kymenlaakson ammattikorkeakoulu.

Kekki, N. 2012. Jäähdytyspuhaltimien taajuusmuuttaja-optio. Tampereen Ammattikorkeakoulu. (Viitattu 1.11.2012). Saatavissa: [http://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/41728/Kekki\\_Niklas.pdf?sequence=1](http://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/41728/Kekki_Niklas.pdf?sequence=1)

Maersk Maritime Technology. Triple-E Vessels. Internet-sivut. (Viitattu 20.10.2013). Saatavissa: <http://www.maersktechnology.com/stories/stories/pages/triple-evessels.aspx>

Malinen, T. 2011. Autolautan propulsiotyypin valinta ja vaihtoehtoiset ratkaisut. Satakunnan ammattikorkeakoulu. (Viitattu 20.11.2012). Saatavilla: [https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/36200/Malinen\\_Teemu.pdf?sequence=1](https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/36200/Malinen_Teemu.pdf?sequence=1)

Marinelink.com. 2012. Cruise Ship Technology: Azipod Efficiency Gains 2%. Internet- sivut (Viitattu 2.8.2013). Saatavissa:

<http://www.marinelink.com/news/technology-efficiency342175.aspx>

Marine Propulsion. 2012. Chinese plant delivers units up to 4.7MW. October /November 2012.

Ocean-liners.com. SS Normandie. Internet-sivut. (Viitattu 5.11.2012). Saatavilla:

<http://www.ocean-liners.com/ships/normandie.asp>

Orndrup, N. 2009. GSF Container Ship Concept Study. Odense Steel Shipyard Ltd. (Viitattu 10.9.2013). Saatavissa:

<http://www.greenship.org/fpublic/greenship/dokumenter/Downloads%20-%20maga/Concept%20studies%20-%20FINAL/GSF%20Container%20Ship%20Concept%20Study%20-%20FINAL.pdf>

QE2. The Cunard Liner Queen Elizabeth 2. Internet-sivut. (Viitattu 6.11.2012). Saatavilla: <http://www.qe2.org.uk/engine.html>

Rolls-Royce. Propulsors. Internet-sivut. (Viitattu 12.11.2012). Saatavilla:

<http://www.rolls-royce.com/marine/products/propulsors/>

SAM Electronics. 2004. Podded Propulsion Drive for "Seven Seas Voyager". (Viitattu 15.10.2013). Saatavissa:

<http://www.sam-electronics.de/dateien/pad/broschueren/1.083.pdf>

Sekacheva, N. 2007. Upgrading of the third generation of the Remote Diagnostic Systems for ABB Marine Propulsion Systems. LUT: Department of Electrical Engineering.

Shipping gazette. 2006. "Ymer":The first diesel-electric icebreaker in the world. Internet-sivut. (Viitattu 5.11.2012). Saatavilla:

[http://www.shipgaz.com/old/magazine/issues/2003/04/oldship\\_0403.php](http://www.shipgaz.com/old/magazine/issues/2003/04/oldship_0403.php)

Siemens. 2010. Internet-sivut. Industry section. (Viitattu 10.11.2012). Saatavilla:

<http://www.siemens.com/press/pool/de/events/industry/is/2010-09-smm/IIS201009679e.pdf>

South Florida Business Journal. 2000. Carnival cancels two more voyages. (Viitattu 10.10.2013). Luettavissa:

<http://www.bizjournals.com/southflorida/stories/2000/07/17/daily49.html>

Strand, J., Lauvdal, D., Ådnanes, A. 2001. Compact Azipod Propulsion on DP Supply Vessels. Dynamic Position Conference. ABB AS, Marine, Oslo. (Viitattu: 10.10.2013). Saatavissa: [http://www.dynamic-positioning.com/dp2001/thrusters\\_strand.PDF](http://www.dynamic-positioning.com/dp2001/thrusters_strand.PDF)

Tammiaho, E., Uusikylä, M. 2007. Ruoripotkurilaitteiden liiketoiminta Suomessa. Helsinki: Tekes. (Viitattu 20.10.2012). Saatavissa:

[http://www.tekes.fi/Julkaisut/tekes\\_ruoripotkurit.pdf](http://www.tekes.fi/Julkaisut/tekes_ruoripotkurit.pdf)

Tiainen, L., Lehtelä, A., 2009. Propelling Ahead ABB review. Developing the second-generation Azipod® propulsion system, Azipod XO. (Viitattu 18.10.2012). Saatavissa:

[http://www05.abb.com/global/scot/scot271.nsf/veritydisplay/781c8a0545746d54c12576880034ee26/\\$file/59-63%204m910\\_eng\\_72dpi.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot271.nsf/veritydisplay/781c8a0545746d54c12576880034ee26/$file/59-63%204m910_eng_72dpi.pdf)

Varis, J. 2009. Propelling Ahead, ABB review (Viitattu 10.11.2012). Saatavissa:

[http://www05.abb.com/global/scot/scot271.nsf/veritydisplay/781c8a0545746d54c12576880034ee26/\\$file/59-63%204m910\\_eng\\_72dpi.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot271.nsf/veritydisplay/781c8a0545746d54c12576880034ee26/$file/59-63%204m910_eng_72dpi.pdf)

Varis, J. 2011. Next-generation Azipod propulsion system. Shipbuilding & Equipment. (Viitattu 16.10.2013). Saatavissa:

[http://www.shipandoffshore.net/fileadmin/user\\_upload/publication/ShipandOffshore/2011-04/next\\_generation.pdf](http://www.shipandoffshore.net/fileadmin/user_upload/publication/ShipandOffshore/2011-04/next_generation.pdf)

Varis, J. 2012. Improvements In Azipod Design. ABB, Efficiency and availability. (Viitattu 5.10.2013). Saatavissa:

[http://www05.abb.com/global/scot/scot293.nsf/veritydisplay/51235341c521f4dcc1257a8a003c8cd1/\\$file/ABB%20Generations%20Improvements%20in%20Azipod%20design.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot293.nsf/veritydisplay/51235341c521f4dcc1257a8a003c8cd1/$file/ABB%20Generations%20Improvements%20in%20Azipod%20design.pdf)

Varis, j., Laakkonen, E. 2011. DP Drilling Operation Success -Electric Pod Thrusters Extend Maintenance Intervals. ABB Marine, Finland. (Viitattu 10.9.2013). Saatavissa: [http://www.dynamic-positioning.com/dp2011/thrusters\\_varis.pdf](http://www.dynamic-positioning.com/dp2011/thrusters_varis.pdf)

Woodyard, D. 2010. Perfecting the Podfather. Marine Propulsion. February/March 2010.

Ulstein Verft AS. 2001. Presenting the next generation in podded propulsion The Compact Azipod propulsion system.

Yakusue, A. 2011. JBU, Making the shipbuilding industry more sustainable and greener. IMF-EMF Global Conference. Istanbul. (Viitattu 1.10.2013). Saatavissa: [http://www.imfmetal.org/files/11091921073379/yakusue\\_akira\\_japan.pdf](http://www.imfmetal.org/files/11091921073379/yakusue_akira_japan.pdf)

Ådnanes, A. 2003. Maritime Electrical Installations And Diesel Electric Propulsion. ABB AS. Marine.

Åsbrink, B. M/s Vandal - a historical ship. Internet-sivut. (Viitattu 5.11.2012). Saatavissa: <http://www.branobelhistory.com/themes/innovations/ms-vandal-a-historical-ship/>

Ämmälä, P. 2003. CRP Azipod for Ultra Large Container Ships-An Advanced Cost-Effective Solution. ABB Industry Oy, Marine Group.Helsinki. (Viitattu 15.12.2012). Saatavissa: [http://www02.abb.com/global/seitp/seitp161.nsf/0/11783c62f33da804c1257082003da336/\\$file/CRP+Machinery+Comparison+theory.pdf](http://www02.abb.com/global/seitp/seitp161.nsf/0/11783c62f33da804c1257082003da336/$file/CRP+Machinery+Comparison+theory.pdf)