

Anssi Hepo-oja
&
Viktor Mäki-Kuutti
MEKAANISEN JA SÄHKÖISEN PROPULSIOJÄRJESTELMÄN
ESITTELY

Merenkulun koulutusohjelma
Merikapteeni
2012

MEKAANISEN JA SÄHKÖISEN PROPULSIOJÄRJESTELMÄN ESITTELY

Hepo-oja, Anssi; Mäki-Kuutti, Viktor
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Merenkulun koulutusohjelma
Helmikuu 2012
Ohjaaja: Rantala, Pauli
Sivumäärä: 52
Liitteitä: 2

Asiasanat: propulsiojärjestelmä, asennustavat, ruoripotkurityypit, laivarakennusteollisuus

Opinnäytetyön tarkoituksena oli esitellä kaksi erilaista propulsiojärjestelmää: sähköinen ja mekaaninen järjestelmä. Emme pohdi niiden paremmuutta, vaan halusimme tutustua näihin järjestelmiin itse sekä tuoda ne tutuiksi myös muille opiskelijoille ja merenkulkijoille.

Opinnäytetyössä kerromme, minkälaisissa alustyypeissä kyseisiä propulsiojärjestelmiä käytetään, selvitämme niiden asennustapoja, esittelemme erilaisia ruoripotkurityyppejä sekä arvioimme näiden potkurijärjestelmien tulevaisuuden näkymiä.

Aineisto opinnäytetyöhön on kerätty haastattelemalla alan asiantuntijoita, ABB:n ja Rolls-Roycen internetsivuilta sekä valmistajilta saamistamme materiaaleista.

Tutustuessamme aiheeseen vakuutuimme siitä, että laivanrakennusteollisuus ja uudet innovaatiot laivanrakennusteollisuudessa ovat Suomessa kansainvälistä huippua nyt ja tulevaisuudessa.

Kiitämme ABB:tä sekä Rolls-Roycea hyvästä yhteistyöstä.

INTRODUCTION TO MECHANICAL AND ELECTRIC PROPULSION SYSTEMS

Hepo-oja, Anssi; Mäki-Kuutti, Viktor
Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences
Degree Programme in Maritime
February 2012
Supervisor: Rantala, Pauli
Number of pages: 52
Appendices: 2

Keywords: propulsion system, installation methods, rudder-propeller types, ship-building industry

The purpose of this thesis was to present two different types of propulsion systems: electric and mechanical. We do not discuss which is better, instead we wanted to explore these systems themselves and make them familiar to other students and mariners.

In the thesis we explain in which type of ships these propulsion systems are used, find out their installation methods, present a variety of rudder-propeller types and evaluate future scenarios for these propulsion systems.

The material of the thesis was collected by interviewing experts in the field, ABB and Rolls-Royce's website as well as materials we received from the manufacturers.

In our study of this topic we were convinced that shipbuilding industry in Finland and new innovations in our shipbuilding industry are at the highest international standards now and in the future.

We thank ABB and Rolls-Royce for good co-operation.

SISÄLLYS

KÄSITTEET	6
1 JOHDANTO.....	7
1.1 Opinnäytetyön taustaa.....	7
1.2 Opinnäytetyön tavoite.....	7
1.3 Käytetyt menetelmät.....	7
2 AZIPOD- JA AQUAMASTER- POTKURIJÄRJESTELMIEN ESITTELY.....	8
2.1 Ruoripotkurit ja perinteinen potkurijärjestelmä.....	8
2.2 Ruoripotkureiden historiaa	9
2.3 Azipodin historiaa.....	10
2.4 Aquamasterin historiaa	11
2.5 Azipodin toimintaperiaate.....	13
2.6 Aquamasterin rakenne	14
2.7 Aquamaster potkurilaitteen osat	16
3 AZIPODIN KÄYTTÖ ERI ALUSTYYPEISSÄ	17
3.1 Azipod jäissä kulkevissa aluksissa	17
3.2 Azipod ja kaksitoiminen alus.....	18
3.3 Azipod VI-sarja käytössä.....	21
4 SÄHKÖINEN JA MEKAANINEN JÄRJESTELMÄ	23
4.1 Azipodin suunnittelun pääperiaatteet.....	23
4.2 Voimalähteet.....	24
4.2.1 Dieselmekaaninen koneisto.....	24
4.2.2 Dieselsähköinen koneisto.....	25
4.2.3 HSG -konsepti.....	26
5 RUORIPOTKURITYYPIT	28
5.1 Yleistä.....	28
5.2 Azipod VI-sarjan mitat ja painot	31
5.3 Azipodin sähköjärjestelmä.....	34
5.4 Aquamaster ruoripotkurityypit	35
5.4.1 Veden alla asennettavat ruoripotkurit.....	36
5.4.2 Nostettavat ruoripotkurit	36
5.4.3 Sisäänkääntyvät ruoripotkurit.....	38
5.4.4 CRP-potkurit	39
5.4.5 Vetävät ruoripotkurit	42
6 ERILAISET ASENNUSTAVAT.....	43
6.1 Bottom Well Cover -asennus.....	43

6.2 Bolted Conical Well -asennus	45
6.3 Weld-In -asennus	46
6.4 Kansiasennus	46
7 POTKURIJÄRJESTELMIEN TULEVAISUUS	48
8 JOHTOPÄÄTÖKSET	49
LÄHTEET	50
LIITTEET	51
LIITE 1: POTKURIYKSIKÖN YLÄ-, KESKI- JA ALAOSAT.....	51
LIITE 2: AZIPODIN VEDENALAINEN OSA	52

KÄSITTEET

ABS = American Bureau of Shipping. Luokituslaitos.

ACU = Air Control Unit. Ilmanohjausyksikkö.

AD-out = Air Ducts. Ilmakanava ulos.

AD-in = Air Ducts. Ilmakanava sisään.

AIU = Azipod Interface Unit. Azipod liitäntä yksikkö.

Azipod = Azimuthing electric podded drive. 360 astetta kääntyvä sähkömoottori.

BV = Bureau Veritas. Luokituslaitos.

CAU = Cooling Air Unit. Jäähdytysilmayksikkö.

CRP = Contra Rotating Propeller. Propulsio laite varustettu kahdella vastakkaisiin suuntiin pyörivillä potkureilla.

DAS = Double Acting Ship. Kaksitoiminen alus.

DAT = Double Acting Tanker. Kaksitoiminen tankkeri.

DNV = Det Norske Veritas. Luokituslaitos.

FPP = Fixed Pitch Propeller. Kiinteälapainenpotkuri.

GTU = Gravity Tank Unit. Painonestesäiliö.

HPU = Hydraulic Power Unit. Hydrauliyksikkö.

HSG = Hybrid Shaft Gear Generator. Hybridi akseligeneraattori.

LBU = Local Back-up Unit. Varajärjestelmä.

LRS = Lloyds Register of Shipping. Luokituslaitos.

OUT = Oil Treatment Unit. Öljynkäsittely-yksikkö.

SRU = Slip Ring Unit. Liukurengasyksikkö.

1 JOHDANTO

1.1 Opinnäytetyön taustaa

Opinnäytetyömme käsittelee kahta erilaista propulsiojärjestelmää. Koska kyseistä aiheetta ei juurikaan käsitellä koulussa, ja merenkulun kannalta järjestelmien tunteminen on erittäin hyödyllistä, halusimme tutustua näihin järjestelmiin itse sekä tuoda ne tutuiksi myös muille opiskelijoille ja merenkulkijoille.

Esittelemme sähköistä ja mekaanista järjestelmää käyttäen esimerkkeinä ABB:n valmistamaa tuotemerkkiä Azipod ja Rolls-Roycen tuotemerkkiä Aquamaster. Näistä ruoripotkureista Azipod edustaa sähköistä ja Aquamaster mekaanista järjestelmää.

Emme ole työskennelleet vielä aluksilla, joissa näitä järjestelmiä on käytössä, mutta tulevaisuudessa näiden järjestelmien käyttö yleistyy. Myös komentosillalla työskentelevien henkilöiden tulee tuntea kyseiset järjestelmät mm. siksi, että ne parantavat erilaisissa olosuhteissa laivan käsiteltävyyttä.

1.2 Opinnäytetyön tavoite

Opinnäytetyön tarkoitus on tehdä järjestelmät tutuiksi opiskelijoille sekä muille merenkulkijoille esittelemällä mekaanista (Aquamaster) ja sähköistä (Azipod) propulsiorakennetta. Näitä järjestelmiä on käytössä pääasiassa risteilyaluksissa, mutta taloudellisuutensa ja hyvien aluksen käsittelyominaisuuksien vuoksi näiden käyttö muissakin aluksissa olisi mielestämme järkevää.

1.3 Käytetyt menetelmät

Opinnäytetyön tiedonhankinta on toteutettu pääosin haastatteluilla ja vierailuilla laitevalmistajien (Rolls-Royce ja ABB) tehtailla. Aikaisempia opinnäytetöitä kyseisestä

aiheesta ei ole tehty. Tiedot perustuvat asiantuntijahaastatteluihin, heiltä saatuihin materiaaleihin sekä valmistajien Internet-sivustoihin.

2 AZIPOD- JA AQUAMASTER- POTKURIJÄRJESTELMIEN ESITTELY

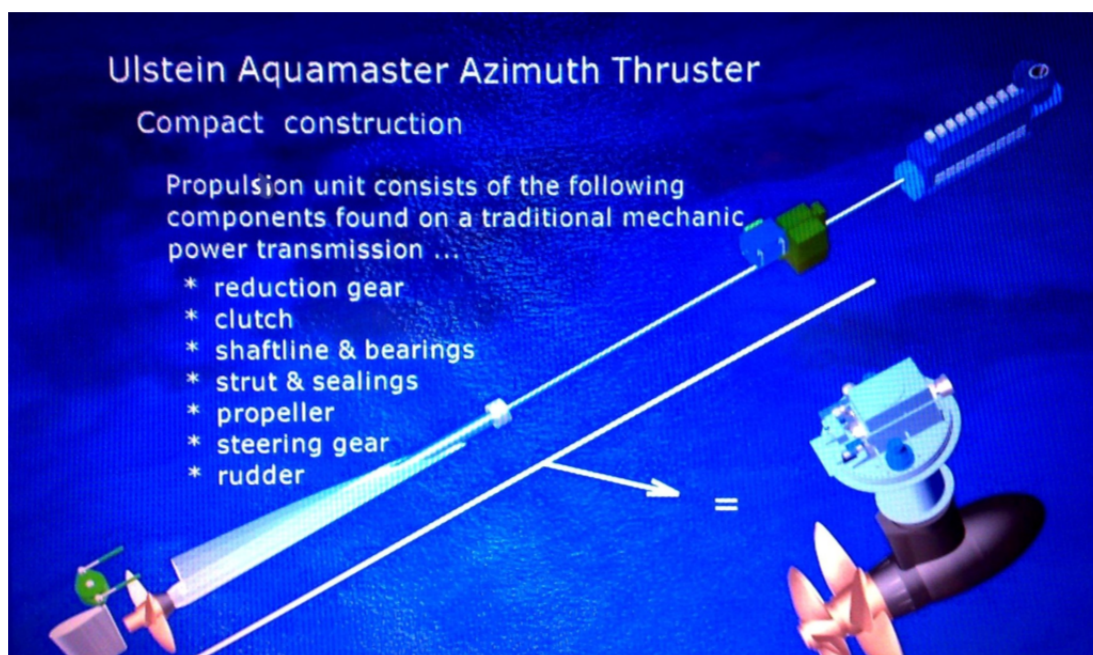
2.1 Ruoripotkurit ja perinteinen potkurijärjestelmä

Kaikki, jotka ovat joskus merenkulun kanssa olleet tekemisissä, tietävät, että laiva, johon on asennettu ruoripotkurilaitte, on helpompi manöveerata kuin alusta, jossa on perinteinen potkuri-peräsinjärjestelmä. Tämä on varmasti yksi tärkeimmistä tekijöistä miksi päädytään Azimuth-propulsioon. Azimuth-propulsio tarkoittaa autonomista ruoripotkuriyksikköä, joka pystyy pyörimään 360 astetta oman pystyakselinsa ympäri. Näin ollen se pystyy antamaan maksimiväntöä/vedon joka suuntaan, mikä mahdollistaa laivan erinomaisen ohjattavuuden. Hyvä ohjattavuus ei kuitenkaan ole ainoa ratkaiseva tekijä valitessa ruoripotkurilaitteistoa. Tässä luvussa käydään läpi muita tekijöitä, jotka saattavat ratkaista, miksi alukseen kannattaa asentaa Azimuth-propulsio.

Merenkulkualan ammattilaisilla on usein sellainen käsitys, että ruoripotkurivaihtoehto on aina kalliimpi kuin konventionaalinen potkuri-peräsinjärjestelmä. Tämä tietenkin riippuu siitä, minkä kokoinen alus on ja mihin tarkoitukseen se on rakennettu. Itse valmistusvaiheessa ruoripotkurilaitteisto tulee halvemmaksi yksinkertaisesti senkin takia, että yhdellä ruoripotkurilla voidaan korvata monia osia, jotka ovat välttämättömiä perinteisessä järjestelmässä. Nämä osat ovat alennusvaihteisto, kytkin, hylsä+tiivisteet, ruorikoneisto, potkuri, peräsin ja tärkeimpänä alle millimetrin tarkkuudella suunnattu akseli, joka yksinään voi maksaa enemmän kuin valmis ruoripotkurilaitte. Tätä havainnollistaa kuva 1. Näiden osien poisjääminen mahdollistaa kompaktin konehuonejärjestelyn ja sitä kautta enemmän kallisarvoista tilaa vaikkapa lastiruumassa. Ruoripotkurilaitteiston asentaminen ei vie paljon aikaa, ja se on halvempi verrattuna perinteiseen järjestelmään. Ruoripotkurilaitte ei myöskään vaadi rinnalleen erikoisia laivan rungon muotoja, vaan tavallinen ja edullinen ”laatikkomuotoinen”

runko sopii mainiosti ruoripotkurilaitteiston pariksi. Tämä mahdollistaa sen, että laiva valmistuu nopeammin. Huollonkin näkökulmasta Azimuth-potkurit ovat edullisempia niiden kompaktin rakenteen vuoksi.

Ruoripotkurilaitteiden edullisuuden lisäksi on muitakin hyviä ominaisuuksia. Jäämurtajissa ruoripotkureilla voidaan tehdä mielenkiintoisia ”temppuja”, esim., jos irtojää puristaa murtajan molempia sivuja, kääntämällä molemmat potkurit 90 astetta ulospäin voidaan työntää jäät irti aluksesta. Jos taas toinen potkureista on mennyt jumiin, joko jäistä tai jostain muusta objektista, sitä voidaan ”spuulata” toisella potkurilla. Äkkitilanteissa nopean reagoinnin takia ruoripotkurit ovat myös turvallisia. Hyvä ohjattavuus ei säästä ainoastaan aikaa, vaan se voi säästää myös ihmishenkiä ja luontoa, joten kaikissa avustusaluksissa kuten pelastus-, palontorjunta- ja öljyntorjunta-aluksissa olisi hyvä olla ruoripotkurit. (Rolls-Royce Oy Ab CD-ROM 2007.)



Kuva 1. Ruoripotkurilaitteella korvattavat osat.

2.2 Ruoripotkureiden historiaa

Ruoripotkureiden periaate on lähtöisin veneiden perämoottorista, jossa potkuri sekä antaa veneelle työntövoimaa että ohjaa sitä. Näin ollen perinteistä peräsintä ei tarvita. Ensimmäiset patentit ruoripotkureista kehitettiin Keski-Euroopassa jo 1800-luvun lopulla. Patenttien vaihteistossa olevat hammaspyörät olivat puuta eikä näin ollen

potkureita voitu viedä tuotantoon. Ensimmäinen kaupallinen versio perämoottorista on vuodelta 1907. Silloiset perämoottorit olivat kuitenkin heikkotehoisia, eikä niitä voitu sijoittaa kuin pieniin huviveneisiin.

1940-luvulla, toisen maailmansodan aikana, USA:n armeijan pyynnöstä Murray & Tregurtha Inc. kehitti ruoripotkurilaitteiston, joilla saatiin laituriproomut autonomiseksi yksiköiksi. Potkuri ja moottori muodostivat yhtenäisen, kiinteän yksikön, joka sijoitettiin proomun päähän. Proomuja käytettiin sataman asemapaikkoina, joita pystyi siirtämään paikasta toiseen tarpeen vaatiessa. Sodan jälkeen nämä laitteet jäivät siviilikäyttöön.

Yksi vanhimmista, vielä tänä päivänäkin tunnetuista yrityksistä on Schottel GmbH. Em. yrityksen ensimmäinen 150 hv ruoripotkurilaitte valmistui vuonna 1951. Alunperin laitetta kehitettiin parantamaan proomujen ohjailukykyä, helpottamaan huoltoa ja säästämään tilaa. Tämän ensimmäisen ruoripotkurin myötä yrityksen tuotekehitys on kasvanut, ja tänä päivänä Schottel GmbH kuuluu ruoripotkurivalmistajien terävimpään kärkeen. (Tekes www-sivut. 2009.)

2.3 Azipodin historiaa

Vuonna 1987 Merenkulkulaitos teki yhteistyöaloitteen ABB Oy:lle ja Masa-Yards Oy:lle, josta alkoi Azipod-potkurijärjestelmän kehittäminen. Alussa yhtiön osakekanta siirtyi kokonaan ABB:lle ja toiminta yhdistettiin tiivistä ABB Marinen muuhun toimintaan.

Ensimmäiset matkustaja-aluksiin asennettavat Azipod-ruoripotkurit toimitettiin Fantasy-sarjan kahteen viimeiseen laivaan, m/s Elationiin ja m/s Paradiseen. Potkurijärjestelmän hyötysuhde parani 8-9 % sarjan ensimmäisiin aluksiin verrattuna.

Vuonna 2000 aloitettiin Compact Azipod -järjestelmän kehittäminen. Tuotesarja on tarkoitettu erityisesti 5 megawatin propulsiotehon sovelluksiin, esim. työlaivoihin, matkustaja-aluksiin ja öljynporauslauttoihin. Ensimmäinen Compact Azipod toimitettiin norjalaiseen huoltoalukseen Normand Roveriin vuonna 2001.

Vuonna 2002 kehitettiin CRP Azipod -konsepti. CRP (Contra Rotating Propellers) on hybridijärjestelmä, jossa yhdistyvät perinteisen mekaanisen potkurijärjestelmän ja Azipod-ratkaisun edut. Ensimmäiset CRP Azipod -tilaukset toimitettiin kahteen japanilaiseen matkustajalauttaan Akashiaan ja Hamanasuun, josta alkoi CRP Azipodin kehitystarina. Merenkulkulaitos, Wärtsilä Marine ja ABB ryhtyivät yhdessä hankkeeseen. Merenkulkulaitos tarvitsi jäänmurtajakäyttöön mekaanisesti lujan ja yksinkertaisen potkurilaitteen. Lisäksi tavoiteltiin parempia ohjailu -ominaisuuksia kuin perinteisellä akseli-peräsinyhdistelmällä.

Azipod-prototyypin kehittäminen ABB:llä alkoi 1989 yhteistyössä Masa-Yardsin kanssa. Ensimmäinen Azipod-ruoripotkuri toimitettiin Merenkukuhallituksen väylänhoitoalus Seiliin, seuraavat itävaltalaiseen jokijäänmurtaja Röthelsteiniin ja suomalaisiin säiliölaivoihin m/t Uikkuun (1993) ja m/t Lunniin (1995).

1990-luvun lopulla perustettiin ABB Azipod Oy, jonka osakkeenomistajia olivat ABB ja Masa-Yards Oy sekä Italiasta Fincantieri. Yhtiö toimii Helsingin Vuosaarissa, jossa tehdään ruoripotkurilaitteiden loppukokoonpano ja -koestus. Vuoden 2000 alussa yhtiön osakekanta siirtyi kokonaan ABB:lle ja toiminta yhdistettiin tiivistä ABB Marinen muuhun toimintaan. (Sippola 2011.)

2.4 Aquamasterin historiaa

Suomi on maailman johtava ruoripotkureiden valmistaja. Eniten potkureita valmistetaan Raumalla, Satakunnassa, josta tunnetuimmat ovat Rolls-Royce-yhtiön valmistamat Aquamaster -ruoripotkurit. Kaikki lähti liikkeelle 1960-luvulla, Hollmingin telakalla. Siihen aikaan laivarakennuksen eri tuotantovaiheiden välillä oli pitkät tauot ja niiden taukojen täyttämiseksi keksittiin erilaisia täytetöitä, jotta lomautuksia voitaisiin välttää. Yksi näistä täytetöistä oli ruoripotkureiden suunnittelu ja valmistus. Alkuaikoina potkureita valmistettiin telakan omaan käyttöön konepajatoimintana.

Ensimmäisten ruoripotkurit muistuttivat tavallisia perämoottoreita, ja niiden teho oli 100–300 hv. Niiden rakennusmateriaalina käytettiin paljon traktoreiden, maatalous-

koneiden ja jopa henkilöautojen osia. Siihen aikaan ruoripotkureista käytettiin nimitystä ”kansiperämoottori” (KPM). Tämä nimitys oli kuitenkin silloisen myyntipäällikön mielestä hankala ja epäsopiva, joten uudeksi nimeksi tuli tänä päivänäkin tuttu Aquamaster.

Alkuaikoina Aquamastereiden valmistus oli hidasta, ensimmäisen vuosikymmenen aikana potkureita valmistui 2–10 kappaletta, ja syynä tähän oli osien hankala saatavuus. 1960-luvun lopulla konepajasta tehtiin oma yksikkönsä, jonka jälkeen tuotanto alkoi pikkuhiljaa kasvamaan. Potkureiden teho ja valmistustiheys kasvoivat, ja kiinnostusta alkoi tuleman myös telakan ulkopuolelta mm. ulkomailta. Ensimmäinen ulkomaalainen tilaaja 1970-luvulla oli ruotsalainen tielaitos, joka käytti potkureita losien ja maantielautojen voimalähteenä. Myöhemmin vuoteen 1975 mennessä potkureita vietiin mm. USA:han, Kanadaan ja Japaniin.

1980- ja 1990-luvuilla Aquamasterilla oli useita omistajia. 1980-luvun puolella välissä suomalaiset laivanrakennusta harjoittavat yritykset Wärtsillä Oy, Valmet Oy, Rauma Repola Oy ja Hollming Oy pohtivat yhdistyä. Lopputuloksena syntyivät Wärtsilän Meriteollisuus Oy sekä Valmet Paperikoneet Oy. Hollming Oy ja Rauma Repola Oy jäivät ulkopuolelle. Vuonna 1988 Rauma Repola Oy:n aloitteesta Hollming Oy ja Rauma Repola Oy yhdistivät pajojaan, ja uuden yhtiön nimeksi tuli Aquamaster-Rauma Oy. Aquamaster -potkureiden ja Repolan kansikoneiden valmistus siirtyi Aquamaster-Rauma Oy:lle. Myöhemmin vuonna 1991 Aquamaster-Rauma Oy siirsi kansikoneiden valmistuksen Koreaan, halvempien rakennuskustannusten ja läheisempien päämarkkinoiden perään. Tästä lähtien Raumalla keskityttiin yksinomaan ruoripotkureiden valmistukseen.

Vuonna 1992 Rauman telakat yhdistyivät, ja uudeksi nimeksi tuli Finnyards Oy. Entinen Holming Oy omisti 39 % Finnyardsista ja luonnollisesti Aquamaster-Rauma Oy siirtyi Finnyardsin yhteiseen omistajuuteen. 1990-luvun puolella välissä Finnyards Oy joutui taloudellisiin vaikeuksiin Stena-varustamon tilaamien alumiinilaivojen takia. Lopulta vuonna 1995 Finnyards joutui luopumaan Aquamaster-Rauma Oy:stä ja myymään sen englantilaiselle pörssiyritykselle Vickers plc:lle. Myöhemmin vuonna 1997 Vickers plc siirsi Aquamasterin sen tytäryhtiölle Kamewalle, ja uudeksi nimeksi tuli Kamewa Finland Oy. Tämän yhtiön nimen alla Aquamaster pysyi vain parisen vuotta. Esille astui uusi ja mahtava, mm. luksushenkilöautoja valmistava

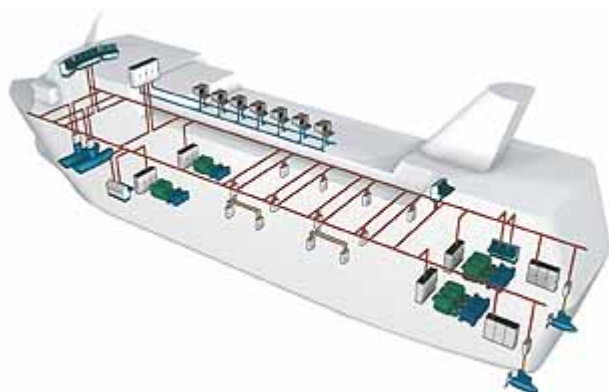
Rolls-Royce -niminen yhtiö, joka päätti laajentaa liiketoimintansa myös merenkulkuun. Vuonna 1999 Rolls-Royce osti koko Vickers plc:n ja Aquamaster- potkureiden isännäksi tuli Rolls-Royce Oy Ab, joka vielä tänäkin päivänä tunnetaan Aquamaster-ruoripotkureiden valmistajana. (Tekes www-sivut. 2009.)

2.5 Azipodin toimintaperiaate

Azipod (Azimuthing electric podded drive) on sähkökäyttöinen ruoripotkurilaite. Kiinteälapaista potkuria pyörittävä vaihtosähkökäyttöinen moottori sijaitsee erillisessä ohjailuyksikössä, joka pystyy kääntymään 360 astetta pysty akselinsa ympäri. Sähkömoottorin pyörimisnopeutta säädetään portaattomasti. Toimintaperiaatteeltaan Azipod muistuttaa sähköistä perämoottoria (ks. kuva 3.).

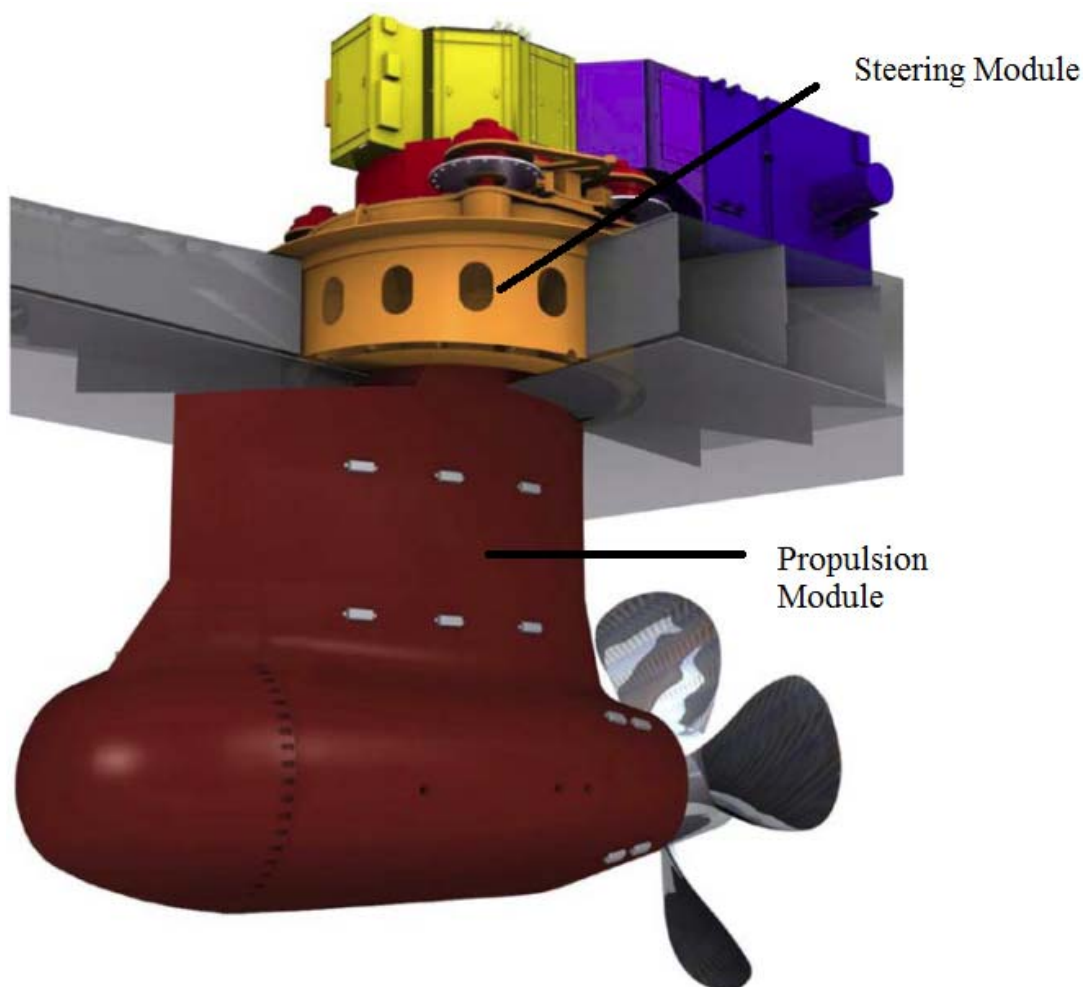
Koska Azipod-ruoripotkuri kääntyy, laivaa on helppo ohjata kaikilla nopeuksilla. Azipod tarvitsee vähemmän tilaa, ja se on kevyempi propulsioratkaisu kuin perinteinen sähköinen potkurimoottori akseleineen. Tilaa jää käytettäväksi muihin tarkoituksiin, ja lisäksi laivan polttoainetalous paranee.

Sähköinen propulsiojärjestelmä sinänsä on kehittynyt muun sähkökäyttökäytännön mukana Azipod-järjestelmästä riippumatta. Vielä 1950-luvulla potkurikäytön tarvitsema teho tuotettiin erillisillä tasasähkögeneraattoreilla. 1970-luvun voimakas kehitys puolijohdetekniikassa mahdollisti kaksi merkittävää edistysaskelta: vaihtosähkögeneraattorit propulsiotehon tuotannossa ja edelleen yhteisen voimalaitoksen potkurikäytölle ja laivan muille kuluttajille, ns. voimalaitoskonsepti (ks. kuva 2.).



Kuva 2. Laivan voimalaitos tuottaa sähköä kaikkiin tarkoituksiin.

1980-luvulla saatiin käyttöön ne perustekniikat, joista nykyaikaisen laivan sähköjaka- ja propulsiojärjestelmät rakentuvat. Puolijohteiden, ohjauslogiikoiden ja säätöalgoritmien kehitys on sittemmin tuonut mahdollisuuksia käyttää samoja perustekniikoita uusissa sovelluksissa ja laajemmalla tehoalueella. (Project Guide for Azipod VO and VI Series.)



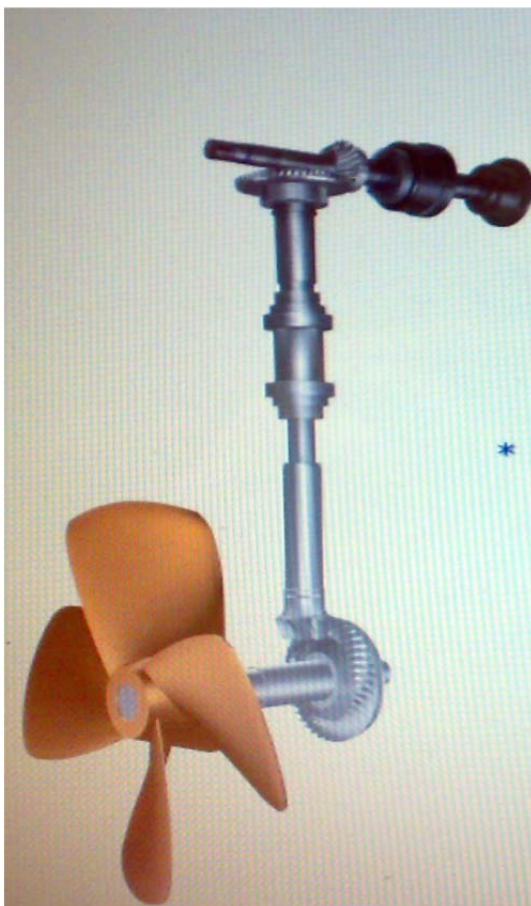
Kuva 3. Azipod VI-sarjan propulsioduuli ja ohjailumuuli.

2.6 Aquamasterin rakenne

Suurimmassa osassa Aquamaster- potkureista on mekaaninen vaihteisto. Mekaaninen vaihteisto tarkoittaa sitä, että poltto- tai sähkömoottorista saatava energia siirretään

alas potkurille akseleiden ja hammaspyörien välityksellä. Potkurilaitteessa akseleiden määrä voi vaihdella yhdestä kolmeen, potkurin tyyppin ja voimalähteen sijainnin mukaan. Raumalla valmistuvat ruoripotkurit ovat kaikki mekaanisia. Rolls-Roycen Ruotsissa sijaitsevassa yksikössä valmistetaan myös sähköisiä ns. ”Pod-” potkureita. (Lindborg 2010.)

Mekaanisia Aquamastereita on kaksi päätyyppiä: Z-järjestelmä ja L-järjestelmä. Näiden rakenteellinen ero on akseleiden lukumäärässä, Z-tyypissä on kolme akselia: ylin, vaakatasossa oleva akseli, pystyakseli ja potkurissa kiinni oleva alin vaakakseli. Tämän huomaa kuvasta 4. Kun taas L-tyypissä ylin vaakakseli puuttuu. Z-tyyppinen ruoripotkuri voi olla, sekä diesel-mekaaninen, että sähkömekaaninen. L-tyyppinen potkuri on useimmiten sähkömekaaninen. (Rolls-Royce Oy Ab CD-ROM 2007.) Hyötysuhteeltaan L-tyyppinen järjestelmä on hieman taloudellisempi, koska siinä on yksi kitkahäviöitä synnyttävä vaihteisto vähemmän (Lindborg 2010).



Kuva 4. Z-järjestelmä.

2.7 Aquamaster potkurilaitteen osat

Mekaaninen ruoripotkuri voidaan jakaa karkeasti kolmeen osaan: yläosa, keskiosa ja alaosa. (ks. liite 1.) Yläosa koostuu yhdestä vaaka-akselista, kytkimestä ja ylävaihteistosta. Vaihteiston tehtävänä on yhdistää ylin vaaka-akseli ja pystyakseli. Ylin vaaka-akseli kulkee moottorista kytkimen kautta vaihteistolle. Kytkimen avulla pystytään rajoittamaan tai katkaisemaan kokonaan laivan moottorista lähtevä veto. Aquamasterin ruoripotkureissa käytetään kahdenlaisia kytkimiä: On-Off-kytkimiä ja liukukytkimiä. Näistä liukukytkin on monimutkaisempi ja kalliimpi vaihtoehto. Liukukytkin on hyödyllinen hitailla nopeuksilla, sillä koneen ollessa joutokäynnillä potkurin kierroksia voidaan säätää pelkästään kytkimellä. Nostamalla kierroksia kytkimen olisi hyvä olla 30–100 % kiinni, jotta vältettäisiin kytkimen ylikuumentuminen. Liukukytkin on melko suosittu dieselmekaanisissa ruoripotkureissa. On-Off-kytkimen toimintaperiaate on sellainen, että se on joko kokonaan auki tai kokonaan kiinni, jolloin potkurin kierroksia säädetään pääkoneella. On-Off-kytkin on tyypillinen sähkömekaanisissa ruoripotkureissa, joissa kierrosten säätö tapahtuu helposti sähköllä.

Aquamasterin keskiosa sijaitsee yläosan alapuolella, laivanrungon ulkopuolella vedessä. Keskiosa voi olla joko hitsattuna tai pultattuna runkoon kiinni riippuen asennustavasta. Keski- ja alaosan liitoskohdassa sijaitsee ohjausmekanismi, jonka avulla ruoripotkuri voidaan ohjata 360 astetta oman akselinsa ympäri keskiosasta alaspäin. Tämän lisäksi keskiosa toimii myös jonkinlaisena kuiluna, jonka sisällä pystysuora kardaaniakseli kulkee.

Ruoripotkurin alaosa koostuu itse potkurista, alimmasta vaaka-akselista ja 1–2 hammaspyörästä, sen mukaan onko kyseessä yksi- vai kaksipotkurinen laite (Contra Rotating Propellers). Osa Aquamasterin ruoripotkureista on varustettu potkuria suojaavalla hydrodynaamisella kehikolla. (Rolls-Royce Oy Ab CD-ROM 2007.)

3 AZIPODIN KÄYTTÖ ERI ALUSTYYPEISSÄ

3.1 Azipod jäissä kulkevissa aluksissa

Azipod-potkurijärjestelmien kehityshistoria alkoi jäänmurtajista ja juontaa juurensa jäänmurtaajien operointiongelmista. Jäänmurtaajakäyttöön valittiin dieselmoottorin sijaan sähkömoottori, koska potkurin suuri vääntömomentti pienillä kierrosluvuilla on jääoperoinnissa tärkeä ominaisuus. (Sippola 2011 ABB Marine.)

Jäissä kulkevat alukset voidaan yleisesti jakaa kahteen pääryhmään

- jäävahvistetut alukset
- jäänsärkijät.

Jäävahvistetut laivat on suunniteltu avoveteen, mutta niiden rungot ovat vahvistettuja ja koneissa on useimmiten enemmän voimaa verrattuna normaaleihin avovesialuksiin. Kyky liikkua jäissä ei tavallisesti ole näiden laivojen päätarkoitus, mutta avovesiominaisuudet ovat yleensä erittäin tärkeä osa suunnittelussa. Jääluokan valinta takaa laivan riittävän lujuuden ja voiman, joten jäänmurtaajat voivat turvallisesti avustaa sitä jään peittämällä alueilla. Esimerkkejä näistä aluksista ovat kaikki laivat, mitkä operoivat pohjoisella Itämerellä talviaikana, kuten lautat, kuivarahtilaivat ja ro-ro alukset. (Sippola 2011 ABB Marine.)

Jäänsärkijän jäissä etenemiskyky on ratkaiseva suorituskykyä tarkasteltaessa. Itsenäinen operointi, esim. operointi ilman suurempaa jäänmurtaaja-apua, on yleisesti osa niiden operointikykyä. Jäissä etenemiskyky on määritelty laivanteknisissä kriteereissä. Sen lisäksi näissä laivoissa on tyypillisesti telakan takuu jääolosuhteissa toimimiseen eli suorituskyky, joka on usein todennettu täysimittaisilla jäätesteillä. Esimerkkejä tämän tyyppisistä aluksista ovat jäänmurtaajat, monitoimimurtaajat ja jotkut tankkerit, rahtilaivat ja tutkimusalukset, jotka on erityisesti suunniteltu jääalueille. (Sippola 2011 ABB Marine.)

Jäissä kulkevien alusten ja erityisesti jäänmurtaajien potkurilaitteet joutuvat huomattavasti suuremmalle rasitukselle kuin normaalien avovesilaivojen laitteet. Kun Azi-

pod-järjestelmää alettiin kehittää nimenomaan erikoislaivoihin, joissa jäissäkulkukyky on ratkaiseva laivan suorituskyvyn kannalta, sen suunnittelun pääperiaatteena oli mekaanisen voimansiirron yksinkertaisuus ja luotettavuus. (Sippola 2011 ABB Marine.)

Suurimpia ongelmia oli jäänmurtajan 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. (Sippola 2011 ABB Marine.)



Kuva 5. Jäänmurtaja MSV Botnicassa on Azipod-järjestelmä.

3.2 Azipod ja kaksitoiminen alus

Laivateollisuuden kannalta on merkittävää, että Azipod-konsepti antaa aivan uusia mahdollisuuksia laivan yleisjärjestelyjen ja toimintojen suunnitteluun. Tämän myötä on syntynyt jopa uusia aluskonsepteja. Näistä ensimmäinen oli Masa-Yardsin arktisessa teknologiakeskuksessa kehitetty ns. kaksitoiminen tankkeri (DAT, double acting tanker), josta sittemmin kehitettiin yleisemmällä tasolla DAS (double acting ship-periaate) koskemaan kaikenlaisia laivatyyppisiä.

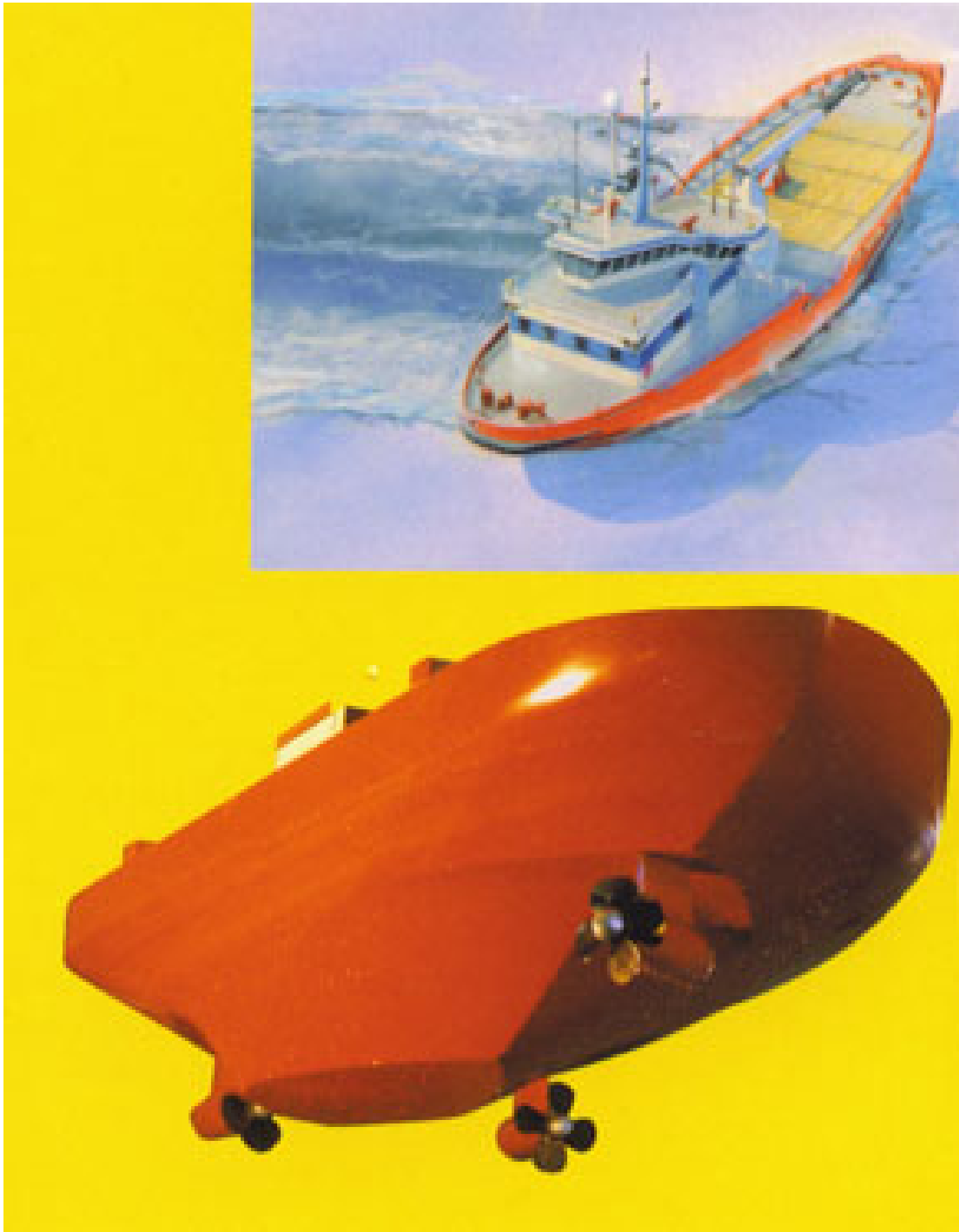
On jo kauan ollut tiedossa, että perä edellä kuljettaessa laivan jäissäkulkuvastus pienenee mm. potkurin kitkaa pienentävän virtauksen ansiosta. Tavallisella peräsimellä varustetuilla laivoilla on kuitenkin hankala ohjata laivaa perä edellä ajettaessa. Tätä ongelmaa ei Azipod-järjestelmällä varustetussa laivassa ole, sillä potkurin työntö voidaan ohjata mihin suuntaan tahansa.

DAS-laivassa keula suunnitellaan normaalien avovesikriteereiden perusteella ja perän muoto optimoidaan jäissä kulkua varten. Tätä periaatetta on jo sovellettu useissa eri laivoissa ja laivatyypeissä. Hyviä esimerkkejä ovat Neste Oilin tankkerit Mastera ja Tempera (kuva 7.).

DAS-periaatteella toimivat laivat pystyvät kulkemaan hyvinkin vaikeissa Itämeren jääoloissa ilman jäänmurtaajan apua. Näin ollen jäänmurtaajien avustustarve vähenee, kun huonommin jäätä murtaavat laivat voivat kulkea DAS-laivan avaamassa rännissä. (Sippola 2011 ABB Marine.)

Ns. vino jäänmurtaaja (ks. kuva 6.) (oblique icebreaker) on toinen konsepti, jossa on ennakkoluulottomasti hyödynnetty Azipod-järjestelmän tuomaa vapautta suunnittelussa. Tällä murtajatyypillä voidaan avustaa leveitä laivoja siten, että murtaaja kulkee jäässä vinosti kulkusuuntaan nähden, jolloin myös sen tekemä ränni on leveämpi.

Jääosaamisesta on ollut hyötyä myös avovesiversioiden tekemisessä, koska tukeva rakenne on jäissä kulun takia ollut lähtökohtaisesti erityisesti suunnittelijoiden mielessä eikä kompromisseja tämän suhteen haettu.



Kuva 6. Vinon jäänmurtajan runkumuoto on epäsymmetrinen ja siinä on kolme Azipod- yksikköä: yksi keulassa ja kaksi perässä.

Nykyään yli neljänneksellä kaikista Azipod-järjestelmällä varustetuista laivoista on jääluokkana vähintään 1A Super suomalais-ruotsalaisen jääsäännön mukaan, ja korkeimmat jääluokat ovat DNV (Det Norske Veritas) Ice 15 icebreaker ja RMR (Russian Maritime Register) LU 7. Korkeimman jääluokan laivat on tarkoitettu yli 1,5 metrin paksuiseen tasaiseen jäähän. (Project Guide for Azipod VO and VI Series)



Kuva 7. Neste Oilin m/t Tempera on Double Acting Tanker.

3.3 Azipod VI-sarja käytössä.

Alla olevassa taulukossa lista laivoista, joita on varustettu Azipod-VI sarjan ruori-
potkureilla.

Aluksen nimi	Aluksen tyyppi	Luokitus	Jääluokka	Kappalemäärä ja teho (MW)
Seili	Waterway service	-	1A Super	1 x 1,5
Uikku	Arctic tanker	DNV	1A Super	1 x 11,4
Lunni	Arctic tanker	DNV	1A Super	1 x 11,4
Röthelstein	Icebreaker	GL	E4	2 x 0,6
Botnica	Icebreaker	DNV	ICE-10	2 x 5,0
Arcticaborg	Icebreaker	BV	1A Super	2 x 1,6
Antarcticaborg	Icebreaker	BV	1A Super	2 x 1,6
Svalbard	Patrol vessel	DNV	POLAR-10	2 x 5,0
Tempera	Arctic tanker	LRS	1A Super	1 x 16,0
Mastera	Arctic tanker	LRS	1A Super	1 x 16,0

Suomenlinna II	Ferry	DNV	1A Super	2 x 0,5
Mackinaw	Icebreaker	ABS	A2	2 x 3,4
Fesco Sakhalin	Icebreaker	DNV, RMRS	ICE-10 Icebreaker 7	2 x 6,5
Vladislav Strizhov	Icebreaker	DNV	ICE-15	2 x 7,5
Yury Topchev	Icebreaker	DNV	ICE-15	2 x 7,5
Polar Pevek	Icebreaker	DNV	ICE-10	2 x 5,0
Norilsk Nickel	Container vessel	RMRS	Arc7	1 x 13,0
Vasili Dinkov	Shuttle tanker	RMRS, ABS	Arc6	2 x 10,0
Kapitan Grotskiy	Shuttle tanker	RMRS, ABS	Arc6	2 x 10,0
Nadezhda	Container vessel	RMRS	Arc7	1 x 13,0
Zapolyarnyy	Container vessel	RMRS	Arc7	1 x 13,0
Talnahk	Container vessel	RMRS	Arc7	1 x 13,0
Montšegorsk	Container vessel	RMRS	Arc7	1 x 13,0
Timofey Guzhenko	Shuttle tanker	RMRS, ABS	Arc6	2 x 10,0
Mihail Uljanov	Shuttle tanker	RMRS, LRS	Arc6	2 x 8,5
Kiril Lavrov	Shuttle tanker	RMRS, LRS	Arc6	2 x 8,5

4 SÄHKÖINEN JA MEKAANINEN JÄRJESTELMÄ

4.1 Azipodin suunnittelun pääperiaatteet

Selvin hyöty sähköisestä propulsiosta jäänsärkemisaluksessa on sähköisen moottorin vääntö. Sähköinen moottori ja yhdistetty vaihteleva taajuusajo voidaan suunnitella saavuttamaan maksimivääntö pienillä potkurikierroksilla ja myös silloin, kun potkuri on pysähdyksissä. Mekaanisen yhteyden poissaolo voimanlähteen ja sähköisen moottorin väliltä mahdollistaa ideaalisen propulsiosysteemin. Jos potkurin lapoihin osuu jäälohkareita, sähkömoottori pystyy pitämään potkurin paremmin pyörimässä kuin suorituskvyyltään vastaava dieselmoottori.

Propulsiomoottori, jota käytetään Azipod VI-sarjassa pystyy tarjoamaan 100 % potkurivoiman paaluveto-olosuhteissa. Jos tarvitaan jään murtamista, propulsiomoottori voidaan myös kytkeä hetkelliseen ylivääntöoperaatioon, jolloin laivan suorituskvyy paranee.

Arktisiin operaatioihin suurilla luokituslaitoksilla on omat säännöt, ja kaikki ovat hyväksyneet yhtenäisen IACS (International Association of Classification Societies) säännöt. Azipod VI -tuotantomallit on yleisesti tarkoitettu jääluokkiin 1A Super tai korkeampiin jääluokkiin, jotka on tarkoitettu esimerkiksi arktisilla ja antarktisisilla alueilla kulkeville laivoille.

Azipod VI -tuotteet on luokiteltu suurien luokituslaitoksen jääluokkiin mukaan lukien esimerkiksi ABS (American Bureau of Shipping), BV (Bureau Veritas), DNV (Det Norske Veritas), LRS (Lloyds Register of Shipping) ja RMRS (Russian Maritime Register).

Sähköisen propulsioedut:

- Asianmukaiset vääntöominaisuudet
- Dynaaminen vaste (reaktio)
- Laivan dynaamisen paikannuksen mahdollisuus

Lisäksi Azipod VI on suunniteltu tarjoamaan seuraavia etuja:

Tehostettu ohjailukyky vaikeissa jääolosuhteissa – 360°:n ohjailu lupaa täyden vääntömomentin ja työnnön joka suuntaan. Täysi vääntömomentti on myös saatavilla peruutuskierröksillä. Tukeva mekaaninen suunnittelu – yksi lyhyt akseli ja viistohammassvaihteiston poissaolo tarkoittavat sitä, että sähköisen moottorin vääntökapasiteetti voidaan hyödyntää ilman mekaanisia rajoitteita.

Lujuus ja jäykkyys – Azipodin runko on koteloitu, joten se kestää korkeita kuormia, kun ollaan vaikeissa olosuhteissa. Jäykkä akselilinja vähentää resonanssin riskiä jäissä kulun aikana.

Vapaus suunnittelussa – Azipod mahdollistaa suuren joustavuuden suunnittelussa ja tilansäästömahdollisuuksia laivan perätiloissa.

Sähköenergian siirron lisäksi on huolehdittava myös sähköön laadusta. Konvertterit synnyttävät yliaaltoja, jotka häiritsevät potkurimoottoria ja myös muita sähkön kuluttajia laivan sähköverkossa. Erilaisten häiriösuojauksen hallinta, vaihtelevien operointitilanteiden toteuttaminen ja koko propulsiojärjestelmän ohjaus ja suojaus muodostavat systeemisuunnittelun kokonaisuuden, jonka ABB sähkövoima- ja automaatio-toimittajana hallitsee. (Project Guide for Azipod VO and VI Series.)

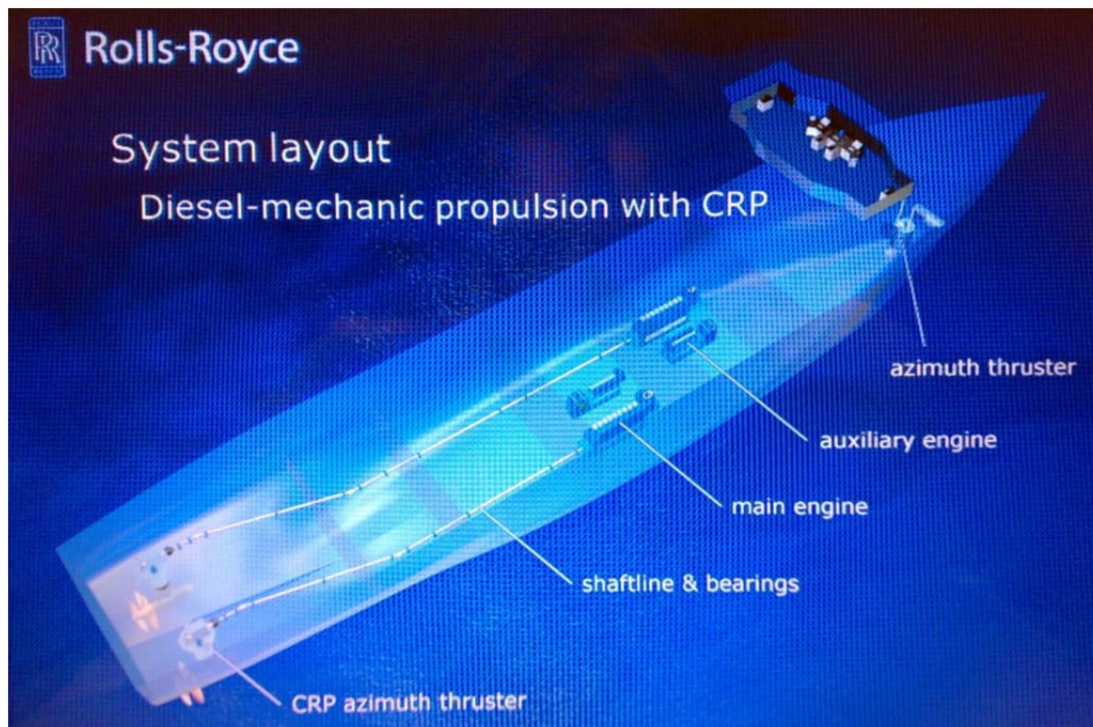
4.2 Voimanlähteet

Ruoripotkureiden koneistona käytetään joko dieselmekaanista tai dieselsähköistä järjestelmää.

4.2.1 Dieselmekaaninen koneisto

Dieselmekaaninen järjestelmä (ks. kuva 8) on samantapainen kuin konventionaalinen systeemi. Molemmissa voimalähteenä käytetään pääkonetta, josta välitetään liike-energiaa akselin kautta potkurille. Ainoa ero perinteiseen järjestelmään verrattuna on potkuri. Ruoripotkurilla varustettu dieselmekaaninen järjestelmä ei vaadi peräsintä eikä siihen kytkettyä peräsinkoneistoa. Systeemi on yksinkertainen ja edullinen suh-

teessa dieselsähköiseen järjestelmään. Dieselmekaaninen järjestelmä on kätevä pienen kokoluokan aluksissa kuten hinaajissa, vartioveneissä, luotsiveneissä, jokialuksissa jne. (Rolls-Royce Oy Ab CD-ROM.)

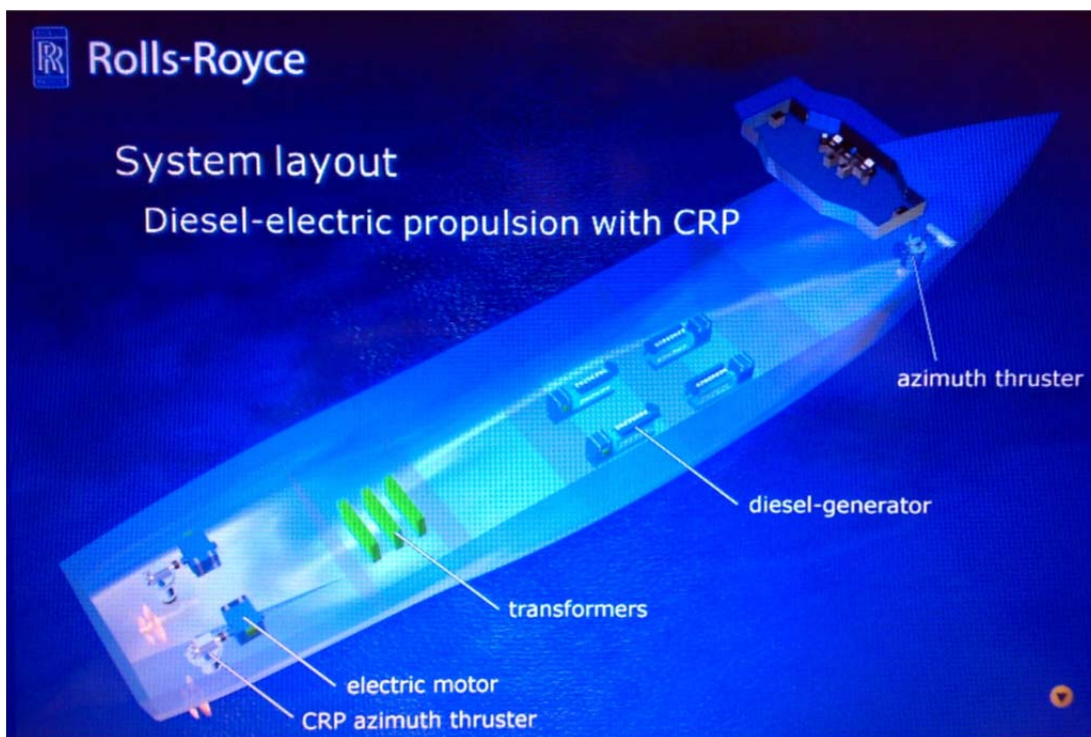


Kuva 8. Dieselmekaaninen järjestelmä.

4.2.2 Dieselsähköinen koneisto

Dieselsähköinen järjestelmä on nykyaikaisempi suhteessa dieselmekaaniseen. Systemi koostuu sekä tavallisesta ns. polttomoottorista että sähkömoottorista. Moottoreita voi tietysti olla useampikin, laivan koon ja sähkön kulutuksen mukaan. Pääsääntönä on kuitenkin se, että dieselmoottorien lukumäärän on oltava riittävä takaamaan riittävän sähköntuoton yhden apukoneista ollessa poissa käytöstä (Rolls-Royce Oy Ab CD-ROM). Dieselmoottorin pyörittämän generaattorin tehtävä on valmistaa sähkömoottorille sähköä. Sähkövirta välitetään ruoripotkurissa kiinni olevalle sähkömoottorille johtoja pitkin muuntajan kautta. Muuntajalla säädetään potkurimoottorille lähtevän sähkövirran määrää, ts. potkurin kierroksia. Näillä samoilla generaattoreilla tuotetaan myös laivan muuhun käyttöön tarvittavaa sähköä, joten erillisiä apukoneita ei tarvita. (Käyhkö 2004, 14–20.)

Dieselsähköisellä järjestelmällä on monta etua. Pitkän akselin puuttuminen mahdollistaa dieselmoottorien ja generaattorien vapaan sijoittelun ja vie vähemmän tilaa konehuoneesta (ks. kuva 9.). Dieselgeneraattoreista lähtee myös vähemmän melua ja värinää verrattuna tavalliseen pääkoneeseen. Systemi on myös joustavampi tehon suhteen, sillä generaattorit voivat käydä aina optiminopeudella, mikä parantaa polttoainetaloudellisuutta ja vähentää pakokaasuja. Kaiken tämän lisäksi etu on myös ohjattavuudessa, sillä sähköisellä ruoripotkurilla on erinomainen suorituskyky kaikilla nopeuksilla ja se reagoi salaman nopeasti käskyihin. Dieselsähköistä ruoripotkurijärjestelmää käytetään nykyaikaisissa matkustajalaivoissa, avustusaluksissa, tankkereissa ja monitoimi-laivoissa. (Rolls-Royce Oy Ab CD-ROM.)



Kuva 9. Dieselsähköinen järjestelmä.

4.2.3 HSG -konsepti

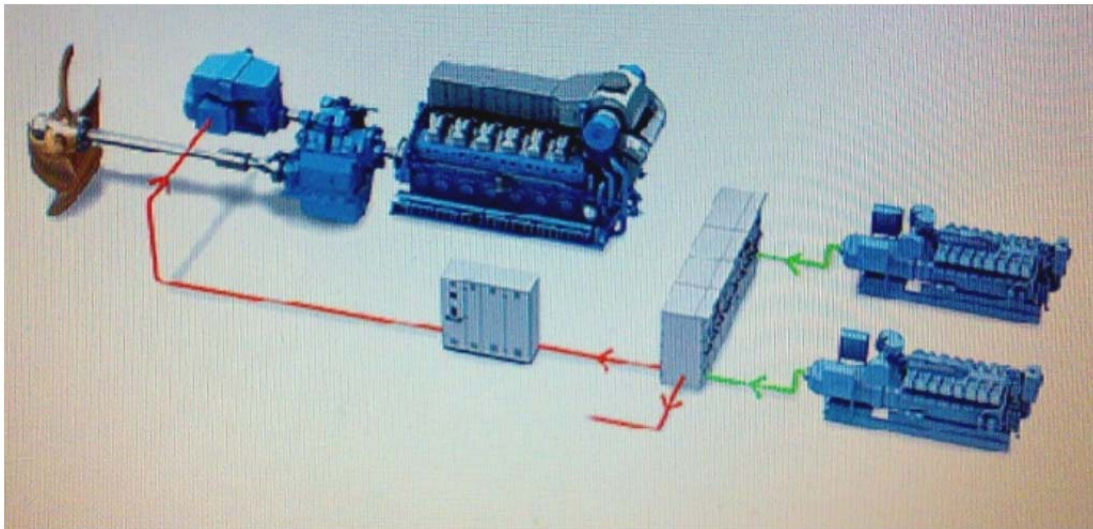
Rolls-Royce on hiljattain käynnistänyt sähköhybridikäyttöisen järjestelmän HSG (Hybrid Shaft Generator), joka antaa taloudellisen liikkumavaran sekä vähentää merkittävästi polttoaineen kulutusta ja päästöjä.

Laivan kulkiessa avomerellä täydellä nopeudella tai lähellä sitä sähkön tuotantoon käytetään useimmiten akseligenaattoria, jonka aikana apukoneita ei tarvitse käyt-

tää. Rajoituksena on kuitenkin se, että pääkoneen kierrokset on pidettävä vakiona, jotta laivan sähköjärjestelmän taajuus pysyisi vakiona. Tämän takia esim. satamaan tultaessa tai liikkussa alueilla, joissa joudutaan muuttamaan koneen käyntinopeutta, on aina vaihdettavaa apukoneisiin, jotta vältettäisiin mahdollinen ns. ”Black Out -tilanne” eli sähkökatko. (Rolls-Royce www-sivut 2011.)

Tämä ongelma on pystytty ratkaisemaan hybridiakseligeneraattorin (HSG) avulla (ks. kuva 10.). Ideana on se, että akseligeneraattoria pystytään käyttämään myös sähkömoottorina. Etu on manöveeraustilanteissa ja liikuttaessa pienillä nopeuksilla, jolloin akseligeneraattori ei pysty takaamaan riittävää ja tasaista sähköntuotantoa. Järjestelmä toimii niin, että pääkoneen ollessa sammutettuna dieselgeneraattorien ns. apukoneiden tuottamalla sähköllä pyöritetään akseligeneraattoria. (Rolls-Royce www-sivut 2011.) Yksinkertaisesti ajateltuna akseligeneraattoria käytetään potkuria pyörittävänä sähkömoottorina eikä sähkön tuottajana. Systemi muistuttaa uuden sukupolven hybridautoja, kuitenkin sillä erolla, että em. autoissa polttomoottoria käytetään ainoastaan akkujen lataamiseen ja HSG -laivassa sähkö välitetään sitä varastoimatta suoraan sähkömoottorille, eli akseligeneraattorille. Molemmissa on kaksi moottoria: polttomoottori ja sähkömoottori. Laivassa on myös näiden lisäksi pääkone.

HSG -systemi on mahdollista asentaa myös vanhoihin laivoihin. HSG -systemi vaatii toimiakseen taajuusmuuntajakaapin ja akseligeneraattorin joka pystyy toimimaan myös sähkömoottorina. HSG -järjestelmä pystyy käsittelemään sekä synkronisia että asynkronisia sähkölaitteita, joten laivan alkuperäisiä apukoneita ei tarvitse vaihtaa, mutta useimmiten se vaatii niiden lisäämistä. HSG -koneistoa tullaan tulevaisuudessa eniten käyttämään offshore-, kauppa- ja kalastusaluksissa. (Rolls-Royce www-sivut 2011.)



Kuva 10. HSG -konsepti.

5 RUORIPOTKURITYYPIT

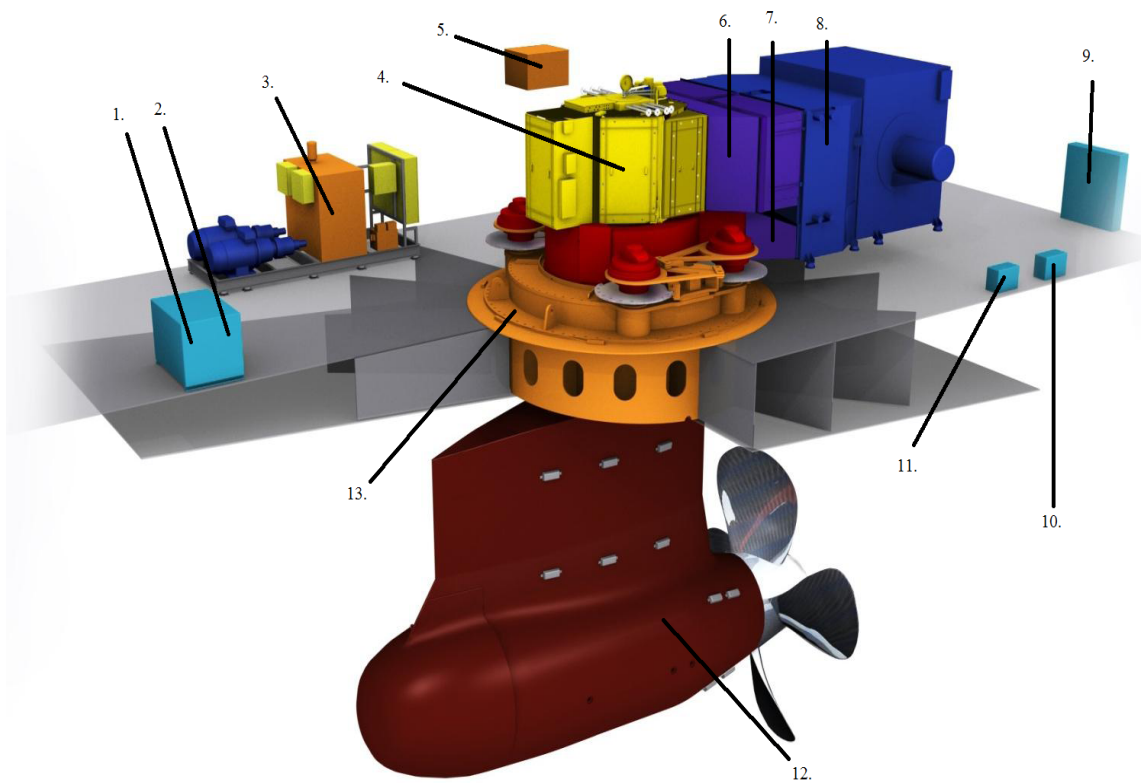
5.1 Yleistä

Azipod-propulsiomoduuili (ks. liite 2) ja yhdistetty ohjailumoduuli on valmistettu teräsrakenteesta. Ohjailumoduuli hitsataan aluksen runkoon rakenteelliseksi osaksi. Vedenalainen propulsiomoduuili sisältää kolmivaihesähkömoottorin kuivassa ympäristössä ja kiinteälapaisen potkurin. ABB on suunnitellut potkurin sopimaan laivan tarpeisiin, jota vielä vahvistetaan telakan toimesta. Propulsiomoduuili pultataan ohjailumoduulin pyörivään osaan. (Project Guide for Azipod VO and VI Series.)

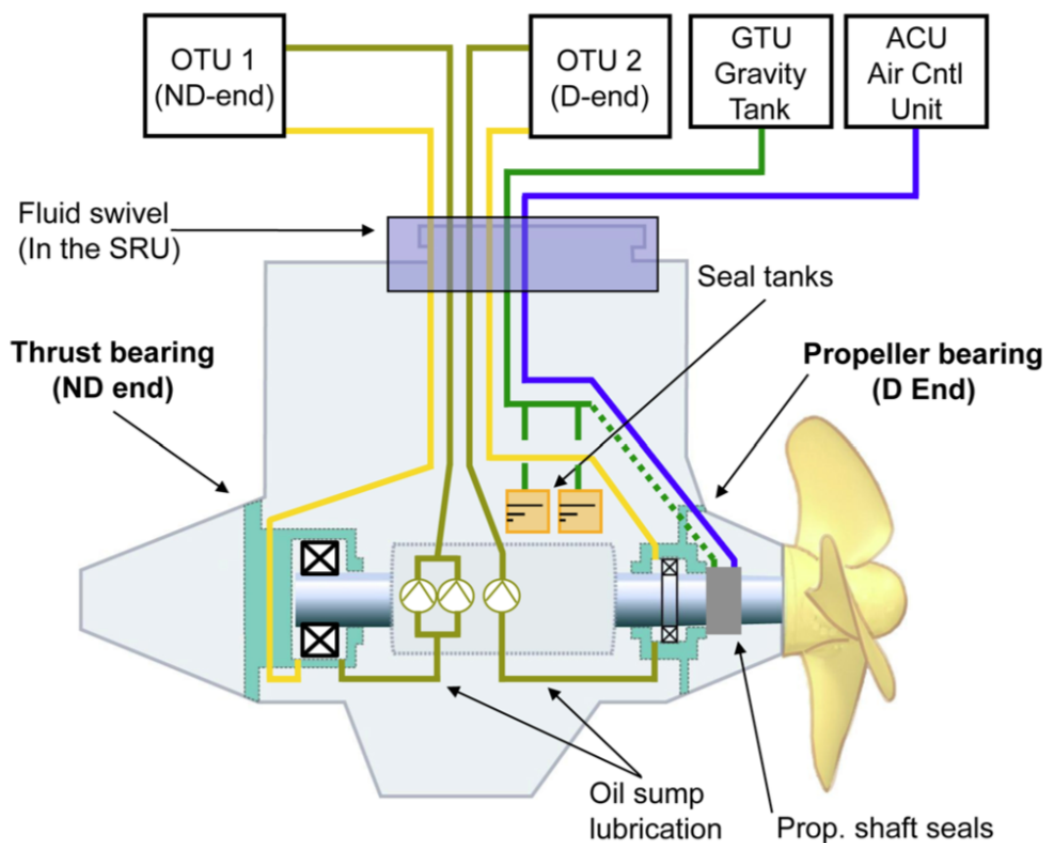
Jokainen Azipod toimitus sisältää seuraavat kolmetoista pääkomponenttia. Kuva 11.

1. Oil Treatment Unit (OTU 1)
2. Oil Treatment Unit (OTU 2)
3. Hydraulic Power Unit (HPU)
4. Gravity Tank (GTU)
5. Slip Ring Unit (SRU)
6. Air Duct, out (AD-Out)
7. Air Duct, in (AD-In)
8. Cooling Air Unit (CAU)

9. Azipod Interface Unit (AIU)
10. Local Backup Unit (LBU)
11. Air Control Unit (ACU)
12. Propulsion module
13. Steering module

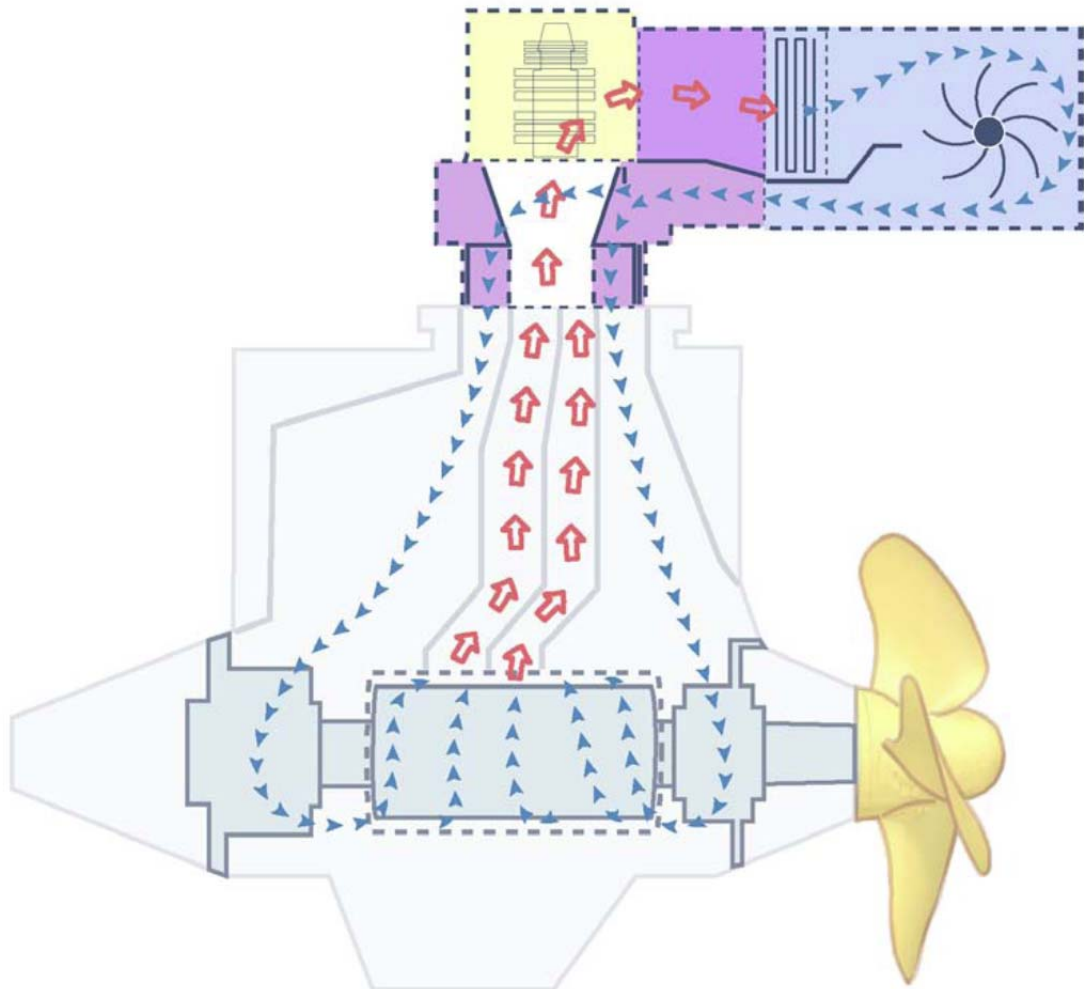


Kuva 11. Leikkaus Azipod yksiköstä ja apulaitteista



Kuva 12. Azipod VI-sarjan apulaitteiden toimintaperiaatteet.

Akselilinjan rullalaakerit ovat osaksi voiteluöljyssä ja öljypohjasta pumpataan öljyä öljynkiertoon, joka takaa riittävän voitelun (ks. kuva 12.).

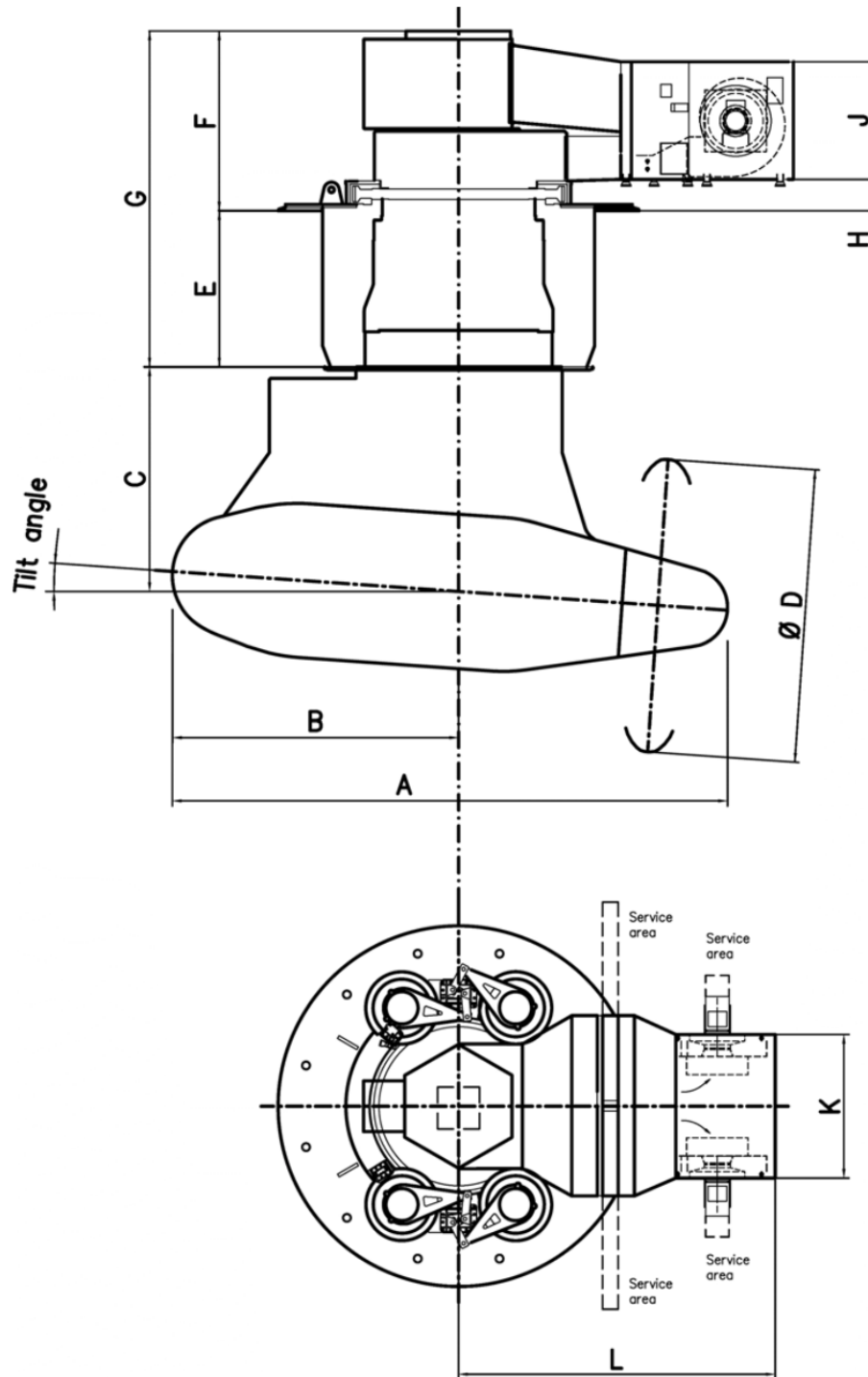


Kuva 13. Jäähdytysjärjestelmä.

Azipod VI-järjestelmään yhtenä osana kuuluu jäähdytysjärjestelmä (ks. kuva 13). Suunniteltu jäähdytysjärjestelmä takaa propulsiomodulin jäähdytyksen, ja näin saadaan paras mahdollinen hyöty.

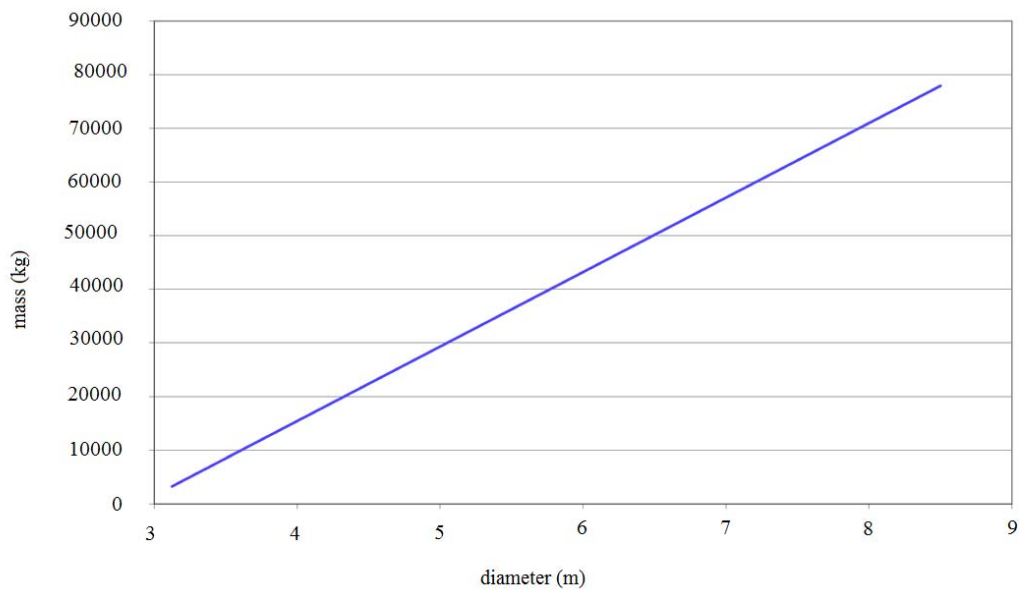
5.2 Azipod VI-sarjan mitat ja painot

Seuraavalla sivulla olevasta kuvasta 14 ja sen liitteenä olevasta kaavio 1. käy selville Azipod VI-sarjan mittoja ja painoja (Project Guide for Azipod VO and VI Series).



Kuva 14. Propulsiojärjestelmän mitat.

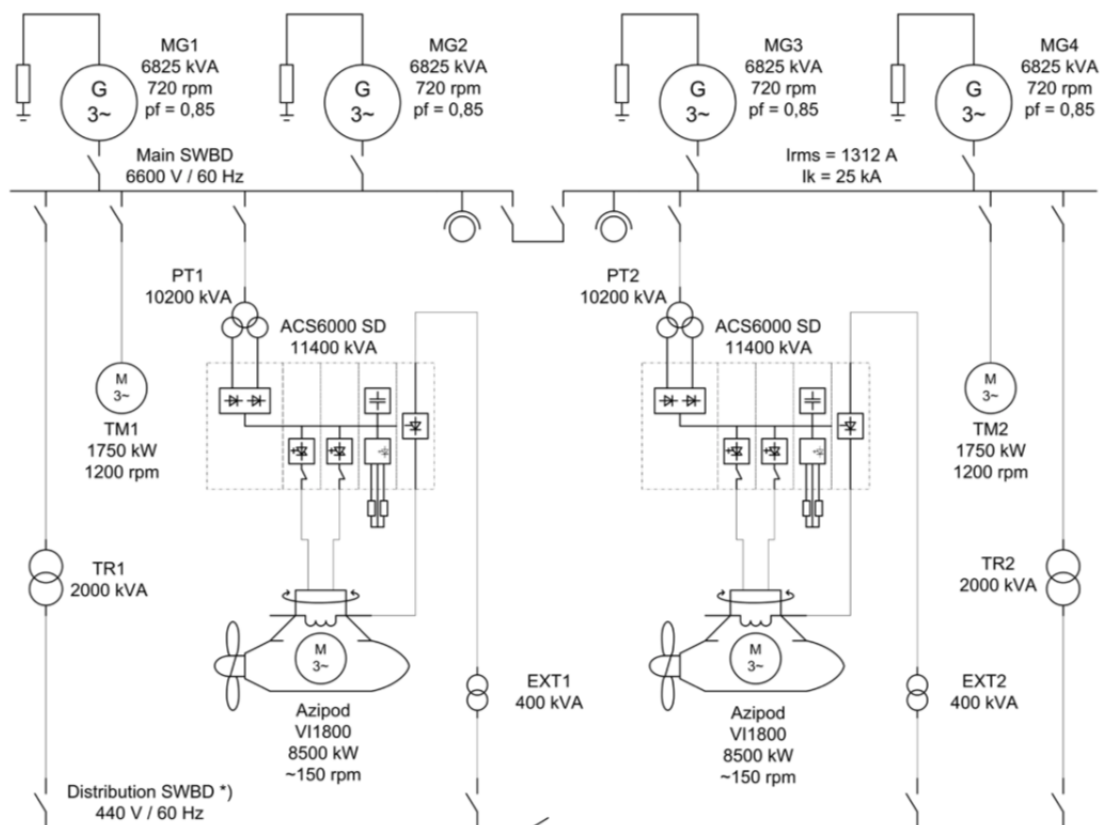
	VI1300	VI1600	VI1800	VI2300	VI2500
A (m)	7.0	7.5/8.5	9.4	10.6	11.7
B (m)	3.6	4.1/4.5	4.8	5.5	6.0
C (typical) (m)	2.3	2.4/3.2	3.5	4.3	5.5
∅D (range) (m)	3.1-3.5	3.5-4.5	4.2-5.0	4.5-5.6	5.1-7.8
E (m)	1.9	1.5/1.9	1.9	3.0	3.1
F (m)	3.2	2.3/2.9	2.9	3.4	3.4
G (m)	5.0	3.7/4.8	4.8	6.4	6.5
H (m)	0.2	0.3/0.4	0.4	0.6	0.6
J (m)	2.8	1.7/2.0	2.0	2.3	3.0
K (m)	4.5	2.5	2.8	2.8	4.0
L (m)	3.5	5.8	6.0	6.1	7.5
Tilt. (deg.)	0	3	4	4	0
Prop. Module (excluding prop.) (tonnes)	67	116	148	220	270
Steering Module (tonnes)	16	86	90	160	165
SRU (tonnes)	4	3	3	4	3
CAU (tonnes)	4.5	8.5	8.5	10	11
HPU (tonnes)	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5
OTU (tonnes)	2 x 0.3	2 x 0.3	2 x 0.3	2 x 0.3	2 x 0.3
GTU+AIU+ LBU+ACU (tonnes)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5



Kaavio 1. Azipod VI-sarjan arvioidut potkurin painot.

5.3 Azipodin sähköjärjestelmä

Seuraavalla sivulla, kaavio numero kaksi on tyypillinen esimerkki, jossa 4 generaattoria on liitetty pääkytkintauluun ja muuntajat syöttävät matalajännitetytkintaulua. Pääkytkintaulu voidaan jakaa kahteen erilliseen verkkoon katkaisimilla voimalaitteen vikasietoisuuden parantamiseksi. (ks. kaavio 2.) (Project Guide for Azipod VO and VI series.)



Kaavio 2. Tyypillinen yksilinjakaavio laivan voimalaitoksesta.

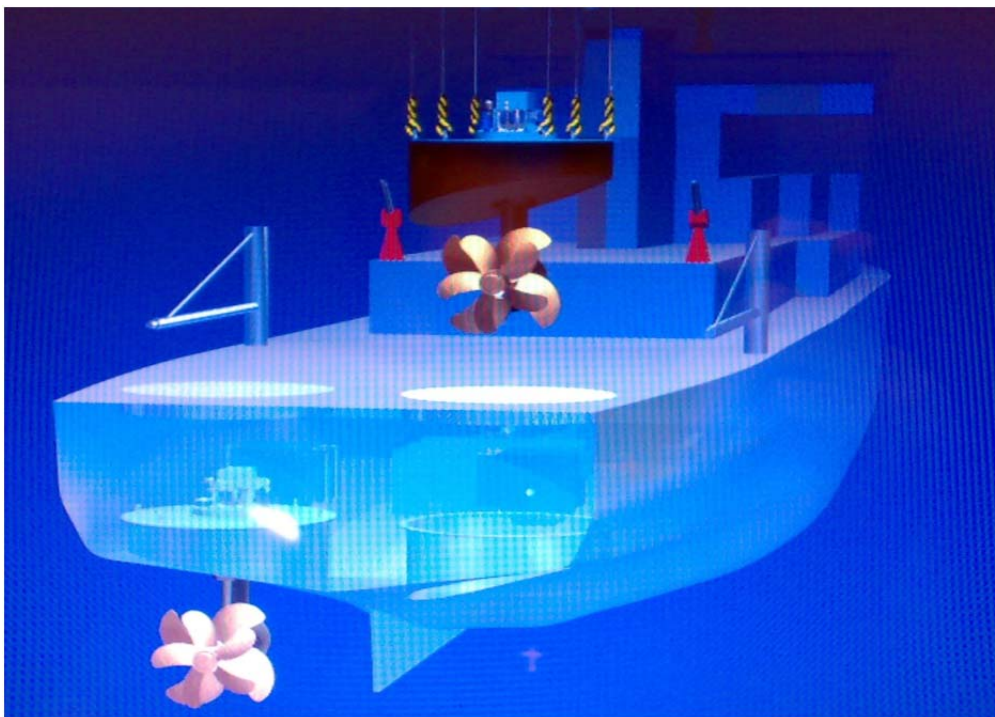
5.4 Ruoripoturityypit

Tässä luvussa käydään läpi muutamia, Aquamasterin eniten valmistettuja ruoripotkureita. Ruoripotkurin valintaan vaikuttavat monet tekijät. Tärkeimpiä ovat potkurilaitteen teho, hinta, ominaisuudet, sekä sopivuus aluksen tarkoitukseen ja tilaan. Aquamaster-ruoripotkureiden tehohaarukka on 300kW–7,5MW, joissa mekaaninen vaihteisto, pod-potkureiden teho on kymmenestä megawatista ylöspäin. Ruoripotkureiden valmistukseen koosta riippuen kuluu aikaa 0,5-1,5 vuotta. Ruoripotkureiden hintalappuun vaikuttaa monta asiaa. Valmistus- ja asennuskustannuksiin vaikuttavat tietysti potkurin koko, eli teho, ominaisuudet ja välttämättömät apujärjestelmät. Esimerkiksi jotkut ruoripotkurit tarvitsevat erillisen tuuletusjärjestelmän, joka luonnollisesti nostaa laitteen hintaa. Ruoripotkureiden huolto on suoritettavaa n. 5 vuoden välein. Mekaaniset ruoripotkurit on helpompi huoltaa verrattuna sähköisiin ns. pod-potkureihin moottorin sijainnin takia. (Lindborg 2010.)

5.4.1 Veden alla asennettavat ruoripotkurit (Underwater mountable thrusters)

Ulstein Aquamasterin vesirajan alle asennettavat perinteiset Azimuth-potkurit on suunniteltu asennettavaksi ilman kuivatelakoinnin tarvetta. Tämän havainnollistaa kuva 15. Tällainen asennusmahdollisuus on äärimmäisen tärkeää suurille aluksille ja Azimuth-potkureilla varustetuille öljyporauslautoille.

Asentaminen toteutetaan helposti ja turvallisesti erikoisesti tähän työhön kehitettyyn nostojärjestelmään ja ainutlaatuisiin tiivistys- ja lukitusmenetelmiin, joita käytetään Bottom Well Cover-, Bolted Conical Well- ja Weld In-asennustavoissa (Näitä asennustapoja käsitellään tarkemmin luvussa kuusi). Potkuriyksikkö voidaan varustaa joko kiinteälapaisella, tai säätölapapotkurilla. Potkureiden halkaisija vaihtelee 2,8 metristä 4,5 metriin, teho on 2700–6500 kW ja kierrosluku 750–1200 rpm. (Rolls-Royce Oy Ab CD-ROM.)



Kuva 15. Märkätelakoinnin yhteydessä asennettava ruoripotkuri.

5.4.2 Nostettavat ruoripotkurit

Nostettava ruoripotkuri (retractable thruster) ei teknisesti eroa paljon Aquamasterin muista ruoripotkureista, sillä kaikissa ruoripotkuriyksiköissä käytetään samoja osia ja komponentteja. Erona muihin saman valmistajan potkureihin on nopealla hydraulii-

kalla varustettu pystysuora ”teleskooppivarsi” (ks. kuva 16). Kyseinen potkurilaitteisto asennetaan laivan runkoon tehtyyn aukkoon. Usein tällainen lisäpotkuri asennetaan joko keulaan keulapotkurin avuksi tai perään. Myös tämä potkuri on mahdollista asentaa märkätelakoinnin yhteydessä. Potkurin saa sekä Z- että L-vetoisena sen mukaan minkä tyyppistä voimalähdettä halutaan käyttää.

Nerokkaan idean oivallus on siinä, että potkurin voi vetää takaisin rungon sisälle, kun sitä ei käytetä. Tämä tapahtuu yksinkertaisesti painamalla komentosillalla sijaitsevaa nappia. Potkuri on suunniteltu ainoastaan manöveeraustarpeisiin aluksen operoidessa hitailla nopeuksilla. Laivan kulkiessa avomerellä potkuria säilytetään turvalisesti rungon sisällä, jolloin se ei myöskään aiheuta turhaa vastusta. Tällaista potkuria käytettäessä on oltava tarkkana veden syvyyden kanssa, ettei kallisarvoista laitetta käytettäisi ruoppaukseen.

Nostettava ruoripotkuri soveltuu erinomaisesti offshore-, avustus-, hinaus- ja tutkimusaluksiin. Potkureita on saatavilla kahdeksan eri kokoa. Pienin potkurilaitte painaa 3600 kg, potkurin halkaisija on 1,050 m ja teho on 280 kW. Suurin nostettava ruoripotkuri mallia UL / ULE 305 painaa 74000 kg, potkurin halkaisija on kolme metriä ja tehoa irtoaa 3000 kW. Kaikki potkurit voidaan varustaa joko kiinteillä tai säädettävillä lavoilla. (Rolls-Roycen esite.)

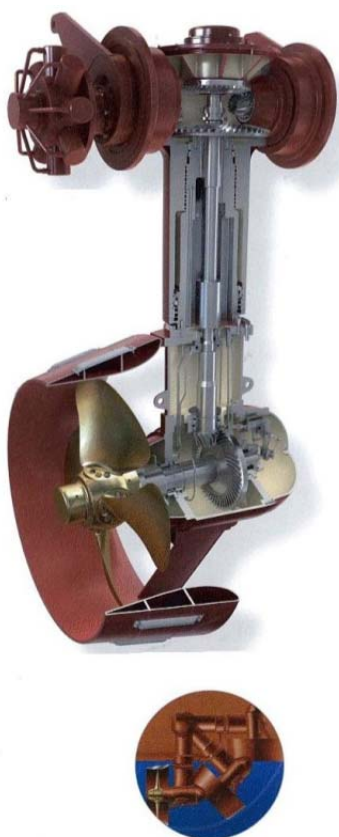


Kuva 16. Nostettava/laskettava ruoripotkuri.

5.4.3 Sisään kääntyvät ruoripotkurit

Sisään kääntyvällä ohjailupotkurilla (swing up thruster) (ks. kuva 17.) on sama toiminnallinen periaate kuin nostettavalla potkurilla, molempia säilytetään laivan rungon sisällä ja lasketaan, kun tarvitaan parempaa ohjailukykyä pienillä nopeuksilla. Niiden rakenteellinen ero on nostomekanismissa. Nostettavat ruoripotkurit on varustettu kahteen kiskoon kytketyllä teleskooppivarrella ja sisään kääntyvät potkurit vaak akselilla, jonka avulla potkuri saadaan nostettua. Vertaa kuvat 16 ja 17. Molemmat nosto-koneistot ovat hydraulistoimisia. Sisään kääntyvän potkurin sijoittaminen on helpompaa, koska se vie vähemmän tilaa kuin nostettava ruoripotkuri kiskojen puuttumisen vuoksi. Ennen nostettavan ruoripotkurin asentamista on asennusaukon sisälle varattava noin ruoripotkuriyksikön korkuinen tila. Joissakin aluksissa se on mahdotonta esim. pohjatankkien takia.

Sisään kääntyvät ruoripotkurit soveltuvat säiliöaluksiin, rahtialuksiin, matkustajalaitoihin, lauttoihin, arktisilla alueilla liikennöiviin aluksiin, porauslautoihin, sekä momenttityyppisiin avustusaluksiin. Myös nämä potkurit saa sekä kiinteillä että säädettävillä lavoilla. Voimalähteenä voidaan käyttää joko sähköistä- tai mekaanista vaihteistoa. Tällä hetkellä sisään kääntyviä potkureita on saatavilla kolme mallia, joiden teho on 736–3000 kW, paino 9–50 t ja 1,8–2,8 m potkurin halkaisijalla. (Rolls-Roycen esite.)



Kuva 17. Sisään kääntyvä ruoripotkuri.

5.4.4 CRP-potkuri

Kyseinen propulsio-laite on varustettu kahdella vastakkaisiin suuntiin pyörivällä potkurilla (contra rotating propellers). Ks. kuvat 18 ja 19. Laite voi tuntua futuristiselta

ja ihmeelliseltä, mutta se patentoitiin jo vuonna 1826 William Churchillin ideasta. Ensimmäistä kertaa potkuri on ollut kuitenkin käytössä vasta toisen maailmansodan aikana japanilaisissa sukellusveneissä. Myöhemmin potkuria sovellettiin myös ilmailuun. Ensimmäisiä vastakkaisiin suuntiin pyörivillä propelleilla varustettuja lentokoneita alettiin valmistaa USA:ssa 1950-luvulla. Ulstein Aquamaster Contaz -tyyppisten CRP-potkureiden tuotanto aloitettiin vuonna 1985, ja ne olivat maailman ensimmäisiä niemenomaan kauppalaivoihin suunniteltuja potkureita. (Rolls-Royce Oy Ab CD-ROM.) Vuonna 2008 tehdyn selvityksen mukaan toiminnassa olevia CRP-potkureita oli 130 kpl ja niitä käyttäviä laivoja 60.

CRP-ruoripotkurin rakenne ei poikkea paljon muista, perinteisistä Aquamaster-ruoripotkurilaitteista. Erona on yksi lisäpotkuri ja sisäakseli, joka kulkee isomman akselin sisällä. Sisäakseli pyörittää ulompaa potkuria ja ”putkiakseli” toista potkuria. Veto välitetään molemmille akseleille yhden pysty akselin kautta. (Rolls-Royce Oy Ab CD-ROM.)

CRP-ruoripotkurit ovat jopa kolmanneksen polttoainesäästeliäämpiä kuin muut ruoripotkurityypit. Potkurilaitteen ideana on se, että ensimmäisen potkurin veteen jättämä pyörre-energia osittain poimitaan jälkimmäisellä potkurilla. Tästä seuraa se, että potkurivirrassa syntyviä pyörrehäviöitä on vähemmän, mikä on suoraan verrannollinen hyötysuhteeseen. Yksipotkuriseen propulsioon kohdistuu suurempi kuorma kuin CRP:hen, jossa kaksi peräkkäistä potkuria jakaa kuorman keskenään. Tämä tarkoittaa sitä, että CRP-potkuria voidaan ajaa pienemmillä kierroksilla kuin yksipotkurista laitetta ja silti saadaan sama työntövoima. Esim. kun potkureihin kohdistetaan sama kuorma, yksipotkurisen laitteen potkurin on oltava 20 % suurempi halkaisijaltaan kuin CRP:n potkureiden. Tämän takia CRP:n käyntinopeus on 25–30 % alhaisempi kuin yksipotkurisen laitteen, potkureiden halkaisijan ollessa sama. Useiden sisaralusten vertailutulosten mukaan CRP-potkurilaitteella varustetuilla aluksilla kuluu 18–25 % vähemmän polttoainetta. (Rolls-Royce Oy Ab CD-ROM.)

CRP:n muita hyötyjä on sen hiljainen käynti. Laivassa potkurin läheisyydessä CRP:stä lähtee 5–10 dB vähemmän melua. Potkuri myös reagoi nopeammin käskyihin, mikä on arvokasta varsinkin manöveeraustilanteissa. CRP-potkurilaitte ei vaadi enempää huoltoa kuin mikään muukaan Aquamasterin ruoripotkurilaitte, ja vaikka CRP onkin vielä aika harvinainen tällä hetkellä kauppamerenkulussa, huoltopisteitä

kuitenkin löytyy ympäri maapallon. Huolto ilman kuivatelakointia onnistuu myös, jos laivan rakenne sen sallii. (Rolls-Royce Oy Ab CD-ROM.) Ainoana miinuksena CRP:stä voi pitää sen hintaa. Me kuitenkin uskomme polttoainesäästeliäiden CRP-potkurilaitteiden yleistyvän lähivuosina samalla, kun polttoöljyn hinta on koko ajan nousussa.

Tällä hetkellä Aquamasterilla on kaksi CRP-potkurimallia, jotka kulkevat nimellä CRP ja Contaz. Potkureiden teholuokka on 300–3300 kW. Potkurit ovat myös erinomaisia jääajossa, ja näin ollen niiden jäälukitus on aina 1A Superin asti. Aquamasterin CRP-potkurit ovat tällä hetkellä kaikki Z-vetoisia. (Rolls-Royce:n esite.)



Kuva 18. CRP-ruoripotkuri tyyppiä Contaz.



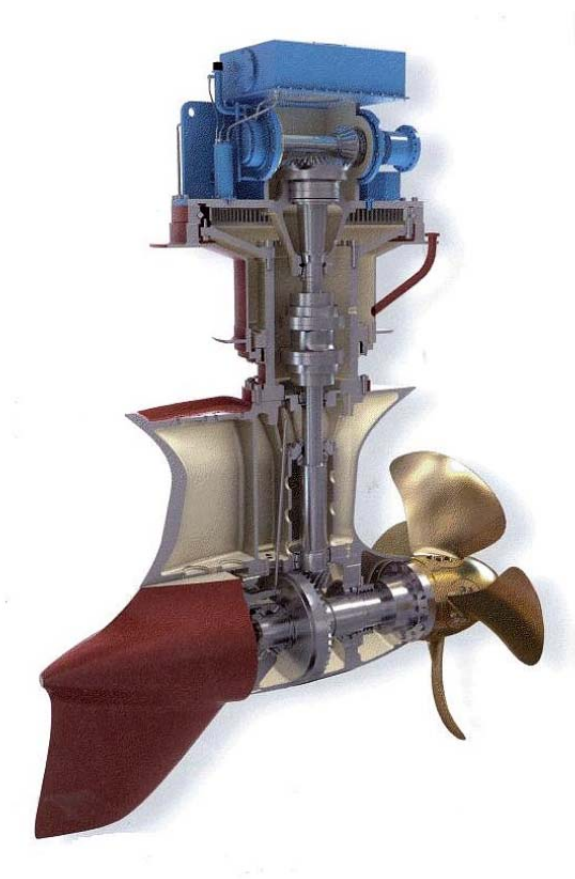
Kuva 19. ABB:n valmistama Azipod CRP.

5.4.5 Vetävä ruoripotkuri

Vetävällä ruoripotkurilla (azimuthing pulling propeller) on osoitettu olevan parempi hydrodynaaminen hyötysuhde (7–9 %) kuin perinteisellä työntävällä ruoripotkurilaitteella. Tämä johtuu kolmesta asiasta:

1. Vetävän potkurin kohtaama virtaus on tasainen työntävän potkurin kohtaamaan virtaukseen verrattuna, koska esimerkiksi akselikannakkeet eivät häiritse virtausta. Kavitaatoriski pienenee ja potkurin lavat voidaan suunnitella optimaalisemmiksi.
2. Useimmissa vetävällä ruoripotkurilaitteella varustetuissa laivoissa ei perässä tarvita sivutyöntölaitteita eikä akselikannakkeita. Rungon vastus pienenee.
3. Potkurin takana oleva virtaviivainen kappale parantaa omalta osaltaan potkurin hyötysuhdetta. Tämä ”costa bulb”-ilmiö havaittiin aerodynamiikassa jo 1930-luvulla. (Rolls-Royce Oy Ab CD-ROM.)

Rolls-Roycen uusin vetävä ruoripotkurilaitte on nimeltään ”Azipull” (ks. kuva 20). Azipull voidaan kytkeä diesel-, kaasuturbiini- sekä sähkömoottoreihin. Azipulin tehohaarukka on 900–5000 kW ja se on suunniteltu asennettavaksi nopeisiin aluksiin, joiden nopeudeksi tulisi 20–24 solmua. Azipull on saatavilla sekä kääntyvä- että kiinteälapaisena. (Rolls-Royce Oy Ab CD-ROM.)



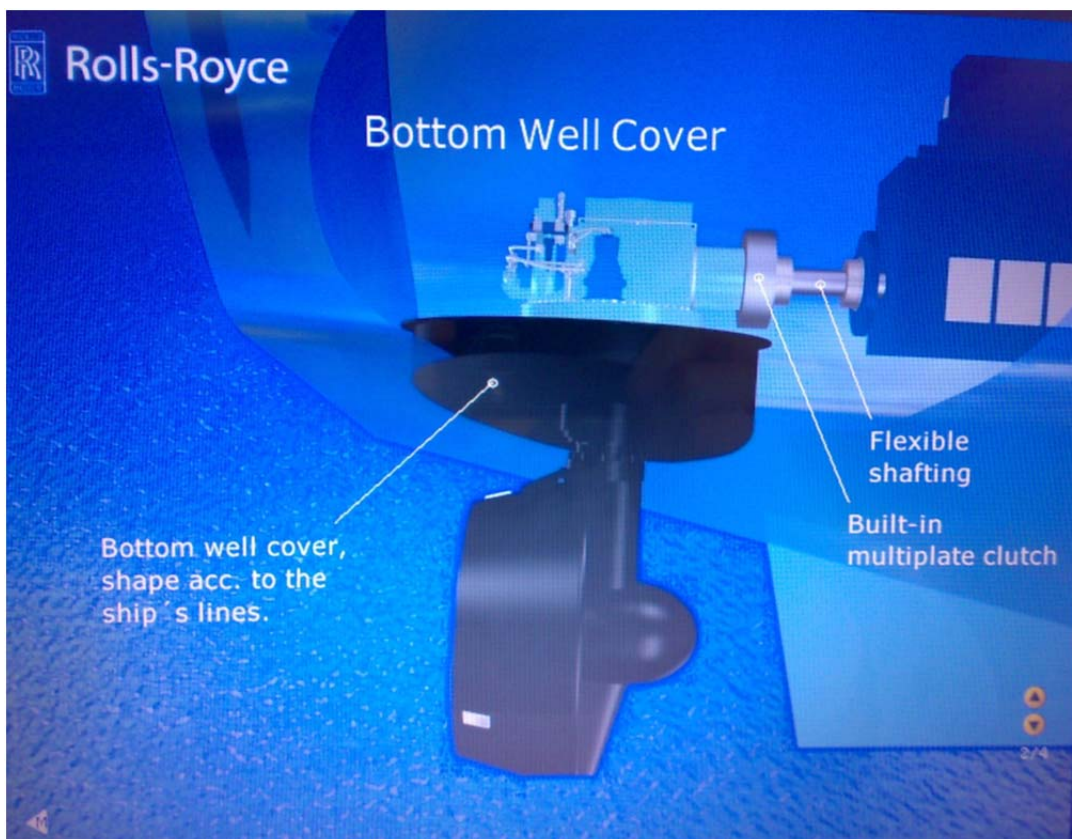
Kuva 20. Vetävä ruoripotkuri mallia Azipull.

6 ERILAISET ASENNUSTAVAT

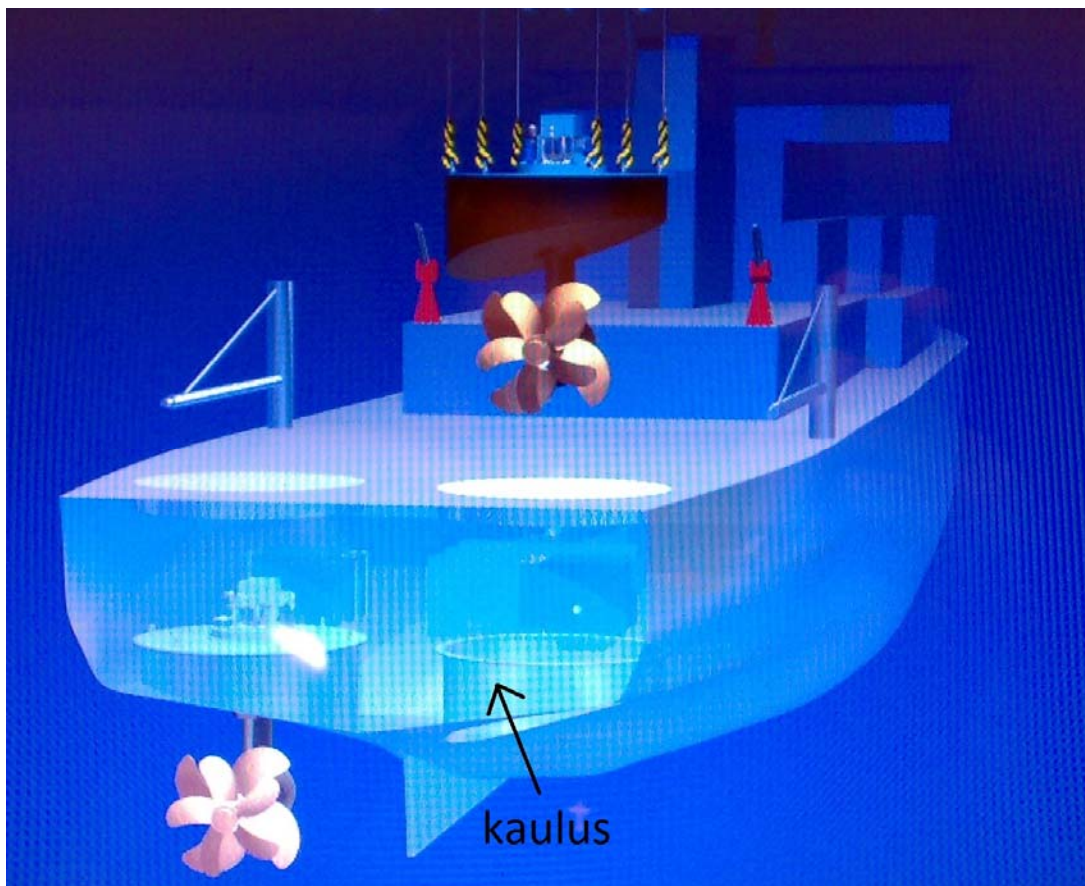
6.1 Bottom well cover –asennus

Yleisin ruoripotkurilaitteiden asennustapa on nimeltään Bottom Well Cover (ks. kuva 21). Ruoripotkurin varren yläpäässä kiinni olevaa osaa nimitetään ”pohjakaivon kanneksi”, jolla suljetaan potkuria varten laivaan pohjaan tehty reikä. Tämä kyseinen kansi on etukäteen suunniteltu laivan pohjakaariviivojen mukaisesti, joten epätasaisuuksia runkoon ei synny. Kaivonkannen kiinnitystapana käytetään hitsausta. Ruoripotkuriyksikkö asennetaan viimeisenä, dieselgeneraattorien ja/tai pääkoneen ollessa jo asennettuna. Bottom Well Cover -asennustapaa käytetään, jos konehuoneessa on rajallinen määrä tilaa.

Bottom Well Cover -asennusta on myös mahdollista suorittaa märkätelakoinnin yhteydessä. Ennen ruoripotkurin asentamista on kaivon ympärille, konehuoneen sisäpuolelle hitsattava lattiaan kiinni 0,5–1 m korkea ”kaulus”, estääkseen meriveden tulvimisen sisälle. Tämän jälkeen koko potkurilaite lasketaan ylhäältä konehuoneeseen, kanteen tehdyn aukon kautta. Tämän havainnollistaa kuva 22. Lopulta potkurisyksikön ”kaivonkansi” joko pultataan tai hitsataan kaulukseen kiinni. (Rolls-Royce Oy Ab CD-ROM.)



Kuva 21. Bottom Well Cover -asennus.



Kuva 22. Ruoripotkuri lasketaan kanteen polttoleikatun aukon läpi.

6.2 Bolted conical well –asennus

Tässä asennustavassa verrattuna ”kaivokansiasennukseen” ruoripotkuriyksikkö on purettava kahteen osaan: ylä- ja alaosaan. (Ks. kuva 23) Ensin on asennettava paikalleen konehuoneessa jo valmiina oleva yläosa. Yläosa lasketaan valmiiksi lattiaan kiinnitettyyn ”kartioon”, jonka tehtävänä on torjua veden pääsyä sisälle. Samalla ”kartio” toimii yläosan telineenä. Kun yläosa on konehuoneessa valmiiksi asennettu, siihen pultataan potkuriyksikön alaosa tiukasti kiinni. On ehdottoman tärkeää muistaa kiinnittää kaikki tarvittavat O-renkaat ja muut tiivisteet, ennen ylä- ja alaosan yhteen kiinnittämistä. (Rolls-Royce Oy Ab CD-ROM.)



Kuva 23. Bolted Conical Well -asennus.

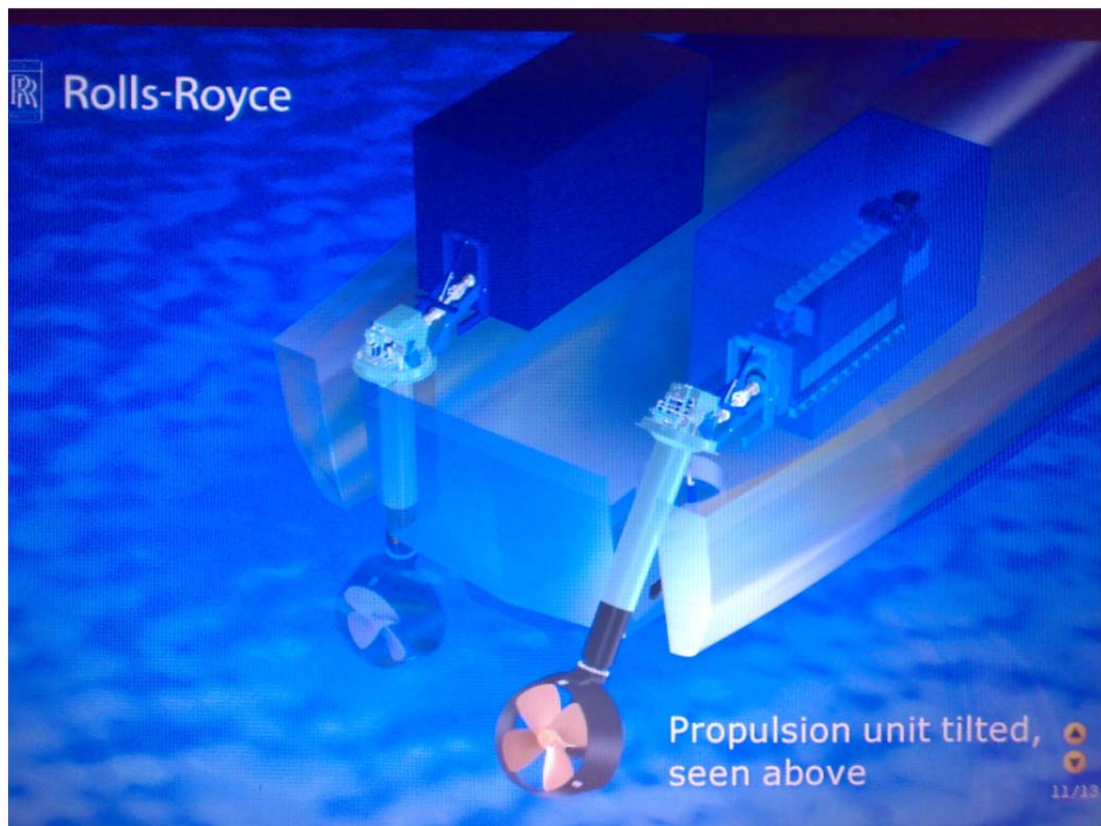
6.3 Weld-In -asennus

Weld-In -asennus muistuttaa ”kartioasennusta” sillä erolla, että tässä tapauksessa kartion tilalla ruoripotkurin yläosalle on tehty rautakehikko. Weld-in-asennustapoja on kaksi: Weld-In Above sekä Weld-In Below. Näiden ero on yläosan asennustavassa. Weld-In Below -asennuksessa ylävaihteisto viedään konehuoneen puolelle laivan ruoripotkurilaitteelle tehdyn aukon kautta, eli alapuolelta (Eng. below). Kun taas Weld-In Above -asennuksessa ruoripotkurin yläosa asennetaan yläpuolelta. (Rolls-Royce Oy Ab CD-ROM.)

6.4 Kansiasennus

Yksi vanhimmista tavoista asentaa ruoripotkurilaitte on ns. ”täkkiasennus” (ks. kuva 24). Kansiasennusta käytetään eniten proomuissa, pontoneissa ja ruoppajissa, joiden

pääkone sijaitsee myös kannella. Avoin täkkiasennus mahdollistaa ruoripotkuriyksikön helpon huollon ja kunnossapidon. (Rolls-Royce Oy Ab CD-ROM.)



Kuva 24. Kansiasennus.

7 POTKURIJÄRJESTELMIEN TULEVAISUUS

Azipod-järjestelmä on usean eri tekniikan yhdistelmä. Rungon suunnittelu vaatii hydrodynamiikan ja lujuusopin yhdistämistä. Moottorin suunnittelu edellyttää sähkömekaniikan hallintaa ja sen jäähdytys termodynamiikan osaamista. Kääntölaite edustaa puolestaan hydraulitekniikkaa. Laivan sähköenergian tuotanto – ns. voimalaitoskonsepti – sähköjakelu ja itse potkurimoottoreiden ohjaaminen erilaisilla konverteritekniikoilla ovat vaativaa systemisuunnittelua.

Azipod-järjestelmässä yhdistetään useita teknologioita ja mekaanisia laitteita mahdollisimman pieneen tilaan. Pienikin muutos yhdessä paikassa voi johtaa suuriin muutoksiin toisaalla. Tästä syystä on tärkeää ymmärtää eri järjestelmien mahdollisuudet, tekniset vaatimukset ja riippuvuussuhteet. Merkittävää etua on siitä, että ABB:llä järjestelmän koko suunnittelu on saman katon alla.

Sähköisten potkurijärjestelmien kysyntä on kasvussa. Jääosaamisella on tärkeä rooli Azipod -järjestelmän kehittämisessä. Uusia sovellusalueita ovat konttilaivat sekä LNG-tankkerit (Liquified Natural Gas).

Hyvän palautteen ansiosta Azipod on saanut tunnustusta sekä kansainvälisillä että kotimaisilla foorumeilla esim. Mariner Log 1995 Innovation Award, Sea Trade 1998 Innovation of the Year ja Sea Trade 2004 Innovation in ship operation.

8 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tutustuminen uuteen propulsiojärjestelmään on ollut mielenkiintoista ja antoisaa. Aiheen ajankohtaisuus sekä uusia mahdollisuuksia merenkulkuun antava järjestelmä sai meidät kiinnostumaan aiheesta.

Työ on jaettu niin, että Anssi Hepo-oja on laatinut raportin sähköisestä järjestelmästä (ABB/Azipod) ja Viktor Mäki-Kuutti mekaanisesta (Rolls-Royce/Aquamaster).

Molemmissa yhtiöissä sekä ABB:ssä että Rolls-Roycella meidät otettiin ystävällisesti vastaan ja saimme aiheeseen liittyvää tietoa siinä mittakaavassa kuin sitä voitiin antaa.

Työmme alkuvaiheessa halusimme ottaa myös Steerprop –yhtiön mukaan, mutta useista sähköpostitiedusteluista huolimatta he eivät olleet halukkaita osallistumaan projektiimme. Se ei ollut ongelma, koska Rolls-Roycen valmistamat ruoripotkurit ovat rakenteellisesti samaa periaatetta.

Ehkä suurin haaste oli kuitenkin se, että kyseisestä aiheesta ei ollut kirjallisuutta, joten työmme perustuu pitkälti ABB:n ja Rolls-Roycen englanninkielisiin julkaisuihin sekä haastatteluihin. Erityisesti kieli asetti haasteita, mutta oli myös positiivinen asia: ammattisanasto karttui.

Suuri haaste on myös ollut aikataulujen yhteen sovittaminen. Olemme molemmat työelämässä ja yhteisen ajan löytäminen lopputyön tekemiselle on ollut vaikeaa.

Vakuutuimme entisestään siitä, laivarakennusteollisuus on Suomessa korkealla tasolla ja sitä, että suomalaista tieto-taitoa tarvitaan maailmalla, kun uusia reittejä pohjoisella pallonpuoliskolla otetaan käyttöön.

LÄHTEET

ABB www-sivut. 2011. Meriteollisuus [EN]. Marine Systems and Solutions [EN]. Azipod Propulsion [EN]. Viitattu: <http://www.abb.fi>

Kallio, M. A. 2007. ABB:n uusi Azipod –potkurilaitetehdas Helsingin Vuosaaren. Projekti uutiset Rakennusalan ammattilehti 6/2007.

Käyhkö, T. 2004. Laivan voimalaitoksen ja jännitevälipiirillisen ruoripotkurikäytön vuorovaikutusten mallintaminen. Diplomityö, Lappeenrannan teknillinen yliopisto.

Lindborg, K. 2010. Tekninen johtaja, Rolls-Royce Oy Ab. Rauma. Haastattelu. 18.11.2010.

Raunio, H. 2007. Metalli. Azipodista kasvaa meriteollisuuden mannekiini. Tekniikka&Talous 15.11.2007.

Rolls-Royce www-sivut. 2011. Marine. Propulsors. Viitattu: <http://www.rolls-royce.com/marine/products/propulsors/index.jsp>

Rolls-Royce Oy Abn CD-ROM. Ship concepts. Released 2007.

Seppälä, J. 9.2.2011. Tekniikka&Talous www-sivut. Metalli. Uutiset. Suomen ABB:lle yli 40 miljoonan euron tilaus. Tekniikka&Talous Viitattu: <http://www.tekniikkatalous.fi>

SIL Sähköinsinöörit www-sivut. 2010. Etusivu. ABB:lle iso tilaus propulsiojärjestelmistä.

Sippola J. 2011. ABB Marine. Sales Support Propulsion Products. Helsinki. Haastattelu. 21.12.2011

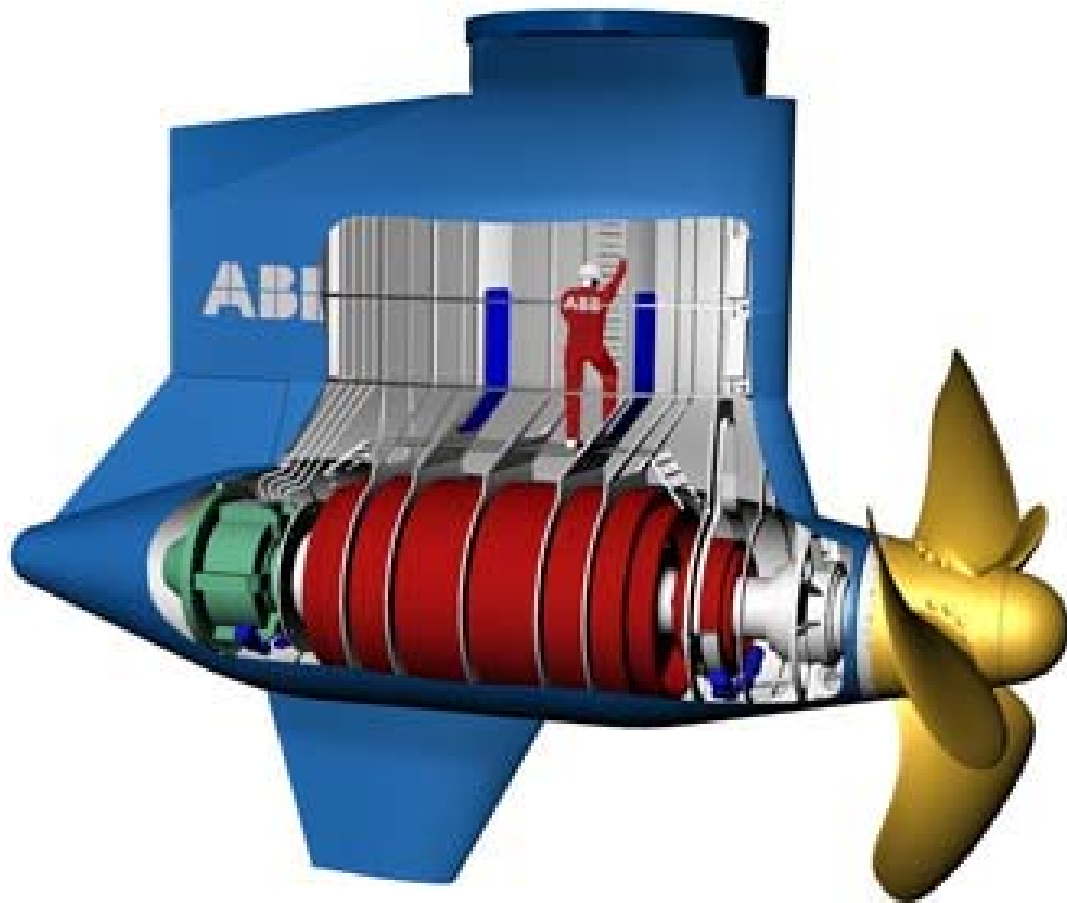
Tekes www-sivut. 2009. Ruoripotkurilaitteiden liiketoiminta Suomessa. Viitattu 11.4.2011. <http://www.tekes.fi>

Tekniikan Maaailma. 1/11. Turanor PlanetSolar: Aurinkolaiva.

LIITTEET



Liite 1. Potkuriyksikön Ylä-, keski- ja alaosat.



Liite 2. Azipodin vedenalainen osa.