

Teemu Malinen

AUTOLAUTAN PROPULSIOTYYPIN VALINTA
JA VAIHTOEHTOISET RATKAISUT

Merenkulun koulutusohjelma

Insinööri

2011

AUTOLAUTAN PROPULSIOTYYPIN VALINTA JA VAIHTOEHTOISET RATKAISUT

Malinen, Teemu
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Merenkulun koulutusohjelma
Joulukuu 2011
Valvoja: Snellman, Johan
Ohjaaja: Uola, Kirsi
Sivumäärä: 45

Asiasanat: autolautta, propulsio, laiva, telakka

Opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää toteutuneiden laivaprojektien propulsiovalintaan johtaneita seikkoja ja perusteita. Tekninen edistys on tuonut laivateollisuuden huomattavan laajan valikoiman erilaisia propulsioratkaisuja, joiden hyviä puolia pyritään osoittamaan erilaisilla laskuilla ja operatiivisilla ominaisuuksilla. Silti valtaosa toteutuneista laivaprojekteista nojaa muuten teknillisestä edistyksestä huolimatta varsin perinteisiin perusratkaisuihin. Miksi näin edelleen on, oli keskeinen kysymys lähdettäessä tekemään tätä työtä.

Koska uusien innovaatioiden markkinoinnissa usein pyritään todistamaan ratkaisun taloudellinen hyöty matemaattisesti, on aihetta kysyä, miksi edelleen valittaisiin perinteinen ratkaisu, jos kerran saavutetaan todistettavaa etua innovatiivisilla ratkaisuilla. Tehtyjen valintojen taustalla täytyy siis olla joko muita taloudellisia seikkoja tai sitten muuta tietoa tai uskomuksia.

Opinnäytetyön lähdemateriaalina ovat pääasiassa keskustelut telakoiden ja varustamoiden edustajien kanssa vasta-argumentteina propulsiolaitteiden toimittajien väittämille. Kaikkia dokumentteja ei ole voitu luovuttaa liitettäväksi työn lähdemateriaaliksi yrityssalaisuuden nimissä. Julkiset dokumentit, nähdyt dokumentit ja keskustelut ovat kuitenkin pystyneet antamaan selkeän ja uskottavan kuvan toteutuneiden laivaprojektien propulsiovalintoihin vaikuttaneista perusteista.

THE SELECTION OF PROPULSION TYPE FOR PASSENGER FERRIES AND AN ALTERNATIVE SOLUTIONS

Malinen, Teemu

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Marine Engineering

December 2011

Supervisor: Snellman, Johan

Tutor: Uola, Kirsi

Number of Pages: 45

Key Words: ferry, propulsion, ship, shipyard

Purpose of this thesis is to give an idea of the real facts and factors that have lead to real life choices in propulsion solutions. Development in technical field has created a wide range of alternative solutions for propulsion systems. Manufacturers offering these solutions often try to prove their application's financial and technical superiority by mathematical calculations. If these calculations are true, then there must be other hidden factors behind the decisions of remaining often with very conservative solutions. To find these hidden factors was the thing that inspired me in this thesis.

Material sources for this thesis are mainly gathered from interviewing people from ship yards and shipping companies as well as propulsion manufacturers. In discussions I have used arguments from the opposition, and have tried to find answers to these. For information and reference different test results and marketing material from manufacturers as well independent sources have being used. Many document's shown or subjects being told cannot be directly published here due to information security. However, all this has given me a good insight into the facts and factors leading into the various outcomes in building projects.

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	7
1.1 Työn lähtökohta	7
1.2 Työn tavoitteet	7
1.3 Tutkimuksen toteutustapa.....	7
1.4 Tutkimusmateriaalin raja.us.....	8
2 ERILAISET PROPULSIOTYYPIT	8
2.1 Suora akseliveto	8
2.2 Mekaaninen potkurilaite.....	9
2.2.1 Toimintaperiaate	9
2.2.2 Työntävä avopotkuri	9
2.2.3 Työntävä suulakepotkuri	10
2.2.4 Vetävä avopotkuri	10
2.2.5 Vastakkain pyörivät avopotkurit.....	10
2.3 Sähköinen potkurilaite.....	11
2.3.1 Toimintaperiaate	11
3 LAITEVALMISTAJIA.....	12
3.1.1 Rolls-Royce: Ulstein-Aquamaster.....	12
3.1.2 Schottel	12
3.1.3 LIPS	12
3.1.4 Steerpop	13
3.1.5 ABB – Azipod	13
3.1.6 ABB – Compact Azipod	13
3.1.7 Alstom/RollsRoyce – Mermaid	14
3.1.8 Siemens-Schottel – SSP	14
4 AUTOLAUTAN PROPULSIO – LÄHTÖKOHDAT JA ERITYISVAATIMUKSET.....	14
4.1 Suunnittelun lähtökohdat ja vaatimukset propulsiojärjestelmän osalta.....	14
4.1.1 Telakointiaikaväli	14
4.1.2 Syväyden asettamat rajoitteet	15
4.1.3 Ohjailukyky	15
4.1.4 Autokansi	15
4.1.5 Polttoaineen kulutus	16
5 LOPULLISEEN VALINTAAN JOHTANEET TEKIJÄT.....	16

5.1 Autolautta Itämeren-liikenteeseen.....	16
5.1.1 Referenssikohteet	16
5.1.2 Autokansi määrävänä tekijänä.....	16
5.1.3 Syväys ja tilajärjestely rajoittavana tekijänä.....	17
5.1.4 Ei taloudellista vertailua	17
5.1.5 Tehon tarve rajoittavana tekijänä.....	17
5.2 Nopea RoPax-alus Itämeren liikenteeseen.....	18
5.2.1 Referenssikohteet	18
5.2.2 Matemaattinen kustannusvertailu.....	18
5.2.3 Liikenneprofiili	18
5.3 Suuri matkustaja-autolautta Itämeren-liikenteeseen.....	19
5.3.1 Referenssikohteet	19
5.3.2 Käytännön vaatimus dieselsähköisyydestä merkittävänä tekijänä propul- siovalinnan kannalta	19
5.3.3 Propulsioratkaisujen vertailua	20
5.3.4 Azipod	20
5.3.5 CRP-potkurilaitteet	21
5.3.6 Vaihtoehtoisten propulsioratkaisujen hyötypotentiaali.....	21
6 TOTEUTUNEIDEN RATKAISUJEN VAIHTOEHTOISIA MALLEJA.....	22
6.1 Kiinnostus vaihtoehtoisia propulsioratkaisuja kohtaan.....	22
6.2 Propulsiojärjestely Azipodeilla.....	22
6.2.1 Edut	22
6.2.2 Ongelmat	22
6.2.3 Kustannuslaskelmat ja kannattavuus.....	23
6.3 Propulsiojärjestely Compact Azipodeilla.....	24
6.4 Propulsiojärjestely CRP-Azipod.....	24
6.4.1 Referenssiaineiston luotettavuus ja vertailukelpoisuus.....	24
6.4.2 Todistettua taloudellisuutta	25
6.5 CRP-propulsiojärjestely mekaanisen potkurilaitteen ja suoran akselin yhdis- telmänä	25
6.6 CRP-järjestelyn ongelmakohtia.....	26
6.6.1 Ulkoisten tekijöiden rajoitukset hydrodynamiikan suhteen.....	26
6.7 Propulsiojärjestely suoran akselin, hydrodynaamisen peräsimen ja potkurilait- teiden yhdistelmänä.	27
6.7.1 Toteutus olemassa olevista komponenteista.....	27
6.7.2 Edut	27
6.7.3 Haitat	28
6.8 Potkurilaitteiden edut erikoistilanteissa.....	28

6.9 Propulsiovaihtoehtojen kustannusvertailujen luotettavuus.....	28
6.10 Referenssikohteiden puute lisää riskiä.....	29
6.11 Argumentteja suoran akselivedon puolesta.....	30
6.11.1 Investointikustannukset	30
6.11.2 Laaja referenssiaineisto	30
6.11.3 Hydrodynaamiset rajoitteet	30
6.12 Tilaajan vaatimukset propulsiosovellutusten tai -tutkimusten suhteen.....	31
6.13 Propulsion luotettavuusarviointi.....	31
6.13.1 Referenssiaineiston niukkuus lisää epävirallisen tiedon merkitystä.....	32
6.13.2 Varustamon mielipiteen merkitys.....	32
6.13.3 Laitemitoituksen ja hintakilpailun merkitys luotettavuudelle.....	33
6.13.4 Tiivisteongelmat	34
7 YHTEENVETO.....	34
7.1 Propulsioista	34
7.2 Opinnäytetyöstä	36
7.3 Kiitokset	36
LÄHTEET.....	38
LIITTEET	

1 JOHDANTO

1.1 Työn lähtökohta

Kiinnostus laivaprojektien propulsiovalintoihin syntyi, koska vaihtoehtoisia propulsioratkaisuja perinteiselle akselilinjalle on ainakin näennäisen runsaasti tarjolla, mutta silti valtaosa autolauttaprojekteista toteutetaan varsin perinteisellä kaavalla. En ole onnistunut löytämään aiemmin selkeitä perusteluja siihen, miksi autolautoissa propulsiovalinnat ovat hyvin konservatiivisia, vaikka samaan aikaan on tarjolla yhä enemmän ainakin teoriassa paremmin soveltuvia ratkaisuja. Työ onkin mitä suurimmassa määrin kvalitatiivinen ja perustuu pitkälti haastatteluihin ja taustatekijöihin tutustumiseen.

1.2 Työn tavoitteet

Tavoitteena oli luoda selkeä käsitys siitä, miten propulsioratkaisuun päädytään. Onko ratkaisu jo lähtökohtaisesti tilaajan sanelema, vai tutkitaanko vaihtoehtoja, ja jos tutkitaan, niin kuinka laajalti? Tavoitteena oli myös luoda käsitys siitä, kuinka valinnassa painotetaan teknillistä, taloudellista ja kokemuseräistä tietoa.

1.3 Tutkimuksen toteutustapa

Työn runkona on kaksi nopeaa autolauttasarjaa: STX:n rakentama Rodin/Star/XPRS-sarja ja Finncantierin Finnlinesille rakentama Finnstar-sarja. Yksi STX:n Tallinkille rakentama perinteinen autolauttasarja ja yksi STX:n Viking Linelle rakentama risteilypainotteinen autolautta. Koska kysymys on eri projekteista, se on auttanut antamaan laajemman kuvan propulsiovalinnoista kuin keskittyttäessä yhteen tai kahteen kohteeseen. Paitsi, että haluttiin selvittää itse valintaprosessia ja perusteita, niin uskottavien vaihtoehtoisten propulsioratkaisujen esittäminen vaati myös tutustumista kohteisiin, joissa on käytetty spekulatiivista kohteena olevia laiteratkaisuja. Koska autolautoissa on hyvin niukasti vaihtoehtoisella tavalla

toteutettuja propulsioita, on työssä käytetty hyväksi kokemuksia propulsioratkaisuista muun tyyppisissä sovellutuksissa. Tämä on mahdollistanut empiirisen tiedon hyödyntämisen itse potkurilaitekannan osalta. Merkittävä osa tutkimusprosessia onkin ollut tutkia myös muita kuin autolauttoja, jotta potkurilaitteita ja muita vaihtoehtoisia propulsioita koskeviin kysymyksiin saataisiin luotettavat vastaukset.

Alunperin tarkoituksena oli vain selvittää, kuinka propulsioratkaisuihin päädytään, mutta työn edetessä on työn luonne muuttunut tutkimukselliseen suuntaan. Työssä on keskitytty pääasiassa teknillisiin seikkoihin. Taloudellisiin seikkoihin ei ollut edellytyksiä puuttua, koska taloudelliset perustelut ovat yleensä hyvin projekti- ja sovellutuskohtaisia ja luottamuksellista tietoa.

1.4 Tutkimusmateriaalin rajaus

Lähtökohtana tässä työssä on normaalisti tavalliseen akselivetoon perustuva matkustaja-autolautta, jolle ainakin teoriassa olisi olemassa taloudellisesti perusteltava propulsiovaihtoehto.

2 ERILAISET PROPULSIOTYYPIT

2.1 Suora akseliveto

Suoralla akselivedolla tarkoitetaan perinteistä ratkaisua, jossa potkuriakselille on kytketty joko kiinteälapainen tai säätösiipipotkuri. Akseleita autolautassa on yleensä kaksi kappaletta. Voimanlähteenä on tavallisimmin alennusvaihteen kautta kytketty keskinopea dieselmoottori. Autolautoissa tyypillinen ratkaisu on kaksi pääkonetta

kytkettynä yhdelle alennusvaihteelle, jolloin tilanteen mukaan voidaan käyttää kahta, kolmea tai neljää pääkonetta. Diesel-sähköisessä toteutuksessa sähkömoottorit käyttävät akseleita suoran diesel-käytön sijasta.

2.2 Mekaaninen potkurilaitte

2.2.1 Toimintaperiaate

Mekaanisella potkurilaitteella tai ruoripotkurilla tarkoitetaan laitetta, joka on tehty erilliseen hydrodynaamisesti muotoiltuun laiterunkoon sijoitettavaksi aluksen rungon alle. Potkuriyksikkö on käännettävissä sen pysty akselin suhteen. Potkuriyksikkö kääntyy 360°, joten potkuriyksikön yhteydessä ei ole perinteisen peräsimen tarvetta. Mekaanisessa potkurilaitteessa voima välitetään aluksen rungon sisällä sijaitsevalta voimanlähteeltä potkurille akselien ja yhden tai kahden kulmavaihteen kautta. Voimanlähteenä voidaan käyttää joko dieselmoottoria tai sähkömoottoria. Kulmavaihteilla saadaan aikaiseksi haluttu välityssuhde joten erillistä alennusvaihdetta ei tarvita.

2.2.2 Työntävä avopotkuri

Vanhin versio potkurilaitteesta on avopotkurilla varustettu työntävä laite. Tämä on kaikista lähimpänä perinteistä akselivetoa. Ratkaisu on edelleen käytössä aluksissa, joiden operointiprofiilissa paaluvetotilanne ei ole merkitsevä. Vapaan ajon vastus on kohtuullisen pieni. Myös hankintahinnan edullisuus ja yksinkertaisuus ovat puoltavia tekijöitä. Laitetta on saatavilla sekä kiinteällä, että säätösiipipotkurilla. Tyypillinen esimerkiksi apualuksissa ja proomuissa. (LIITE 1)

Toinen sovellutus asiasta on arktisiin aluksiin ja jäänmurtajiin tarkoitettu versio. Mitoitus on järeä ja kiinteälapainen potkuri kestävä. Suulakkeettomuus mahdollistaa sen että tukkeutumisoongelmia ei ole. (LIITE 1)

2.2.3 Työntävä suulakepotkuri

Avopotkuri sai rinnalleen suulakkeella varustetun version. Suulake potkurin ympärillä mahdollistaa suuremman työntövoiman alhaisilla nopeuksilla tai pysähdyksissä ollessa. Kyseistä tilannetta kutsutaan paaluvetotilanteeksi. Koska potkurilaitte on hyvien ohjailuominaisuuksiensa ansiosta ollut erityisen suosittu erikoisaluksissa kuten hinaajissa ja ruoppaajissa, jotka operoivat paljon paaluvetotilanteessa, on suuri osa potkurilaitteista varustettu suulakkeella. Suulakkeella varustettujen potkurilaitteiden yleisyys esimerkiksi hinaajissa on jopa johtanut siihen, että toisinaan luullaan kaikkien mekaanisten potkurilaitteiden olevan suulakkeella varustettuja. (LIITE 2)

Jääaluksissa suuresta työntövoimasta on etua. Suuremman paaluvedon lisäksi suulake muodostaa tehokkaasti ”huuhtelevan suihkun”, joka on hyödyllinen esimerkiksi hinaajan puhdistuksessa laituripaikkaa jäälohkareista. Suulake myös suojaa potkuria lapojen kärkiin kohdistuvilta iskuilta. Haittapuolena on suulakkeiden tukkeutuminen irtojäädästä. Suulakkeiden käytöstä jääaluksissa ollaankin jossain määrin luovuttu kyseisen ominaisuuden takia.

2.2.4 Vetävä avopotkuri

Verrattain tuore sovellutus on vetävä avopotkuri. Kun potkuri sijaitsee laitteen rungon etupuolella, on laitteen runko mahdollista muotoilla niin, että potkurin muodostamasta pyörrevirtauksesta saadaan osa energiaa hyödynnettyä ja näin parannettua hydrodynaamista tehokkuutta. Muutoin potkurin mekaaninen hyötysuhde on sama. Tällaiset laiteversiot onkin usein suunnattu suuremman nopeuden aluksiin. (LIITE 3)

2.2.5 Vastakkain pyörivät avopotkurit

Vastakkain pyörivästä avopotkurista käytetään yleisesti nimitystä ”CRP”, joka tulee sanoista ”contra rotating propellers”. CRP-laitteessa potkurit voivat sijaita joko peräkkäin samalla puolella laitetta kuten Rolls-Roycen ratkaisussa tai eri puolella laitteen runkoa kuten Steerpropin versiossa (LIITE 4).

Tunnetuin CRP-ratkaisun etu on sen kyky hyödyntää etummaisena potkurin tuottaman pyörteen muutoin hukkaan menevä rotaatioenergia mahdollisimman tehokkaasti. CRP-laitteilla on kuitenkin useita muitakin vähemmän tunnettuja etuja. Koska voima jaetaan kahdelle eri potkurille, voidaan samoilla ulkomitoilla varustetuilla potkureilla toteuttaa sama teho alemmalla pyörimisnopeudella. Tämä parantaa potkurin hyötysuhdetta ja alentaa voimansiirron kitkahäviöitä. Vetävällä potkurilla on myös positiivinen ”body wake”-vaikutus. Vetävän potkurin takana oleva laitteen runko nostaa potkurin hyötysuhdetta verrattuna tilanteeseen jossa potkuri operoisi täysin vapaassa virtauskentässä. CRP-versioiden parempi hyötysuhde korostuu korkean nopeusluokan aluksissa ja onkin näissä noin 20 % parempi verrattuna työntävään avopotkuriin. Jopa vetävään potkurilaitteeseen verrattuna päästään noin 10 % alempaan tehotarpeeseen. Vaihtoehtoisesti konsepti mahdollistaa vastaavan teholuokan laitteissa pienemmän potkurin halkaisijan joka auttaa sijoittelussa ja syvyyden minimoimisessa. (Jukola 2011.)

2.3 Sähköinen potkurilaitte

2.3.1 Toimintaperiaate

Sähköinen potkurilaitte muistuttaa ulkoisesti jossain määrin mekaanista potkurilaitetta. Laite kääntyy suuren laakerikehän varassa. Mekaanista voimansiirtoa kulmavaihteineen ei kuitenkaan ole. Potkurilaitteen rungon alaosaan on vaakatasossa oleva sähkömoottori. Potkuri sijaitsee suoraan sähkömoottorin akselilla jolloin erillistä vetopyörästä tai alennusvaihteista ei tarvita. Voima tuotetaan aluksen sisällä olevilla generaattoreilla ja välitetään taajuusmuuttajien ohjaamana liukurenkaiden kautta potkurilaitteen alaosaan sijaitsevaan sähkömoottoriin. Sähköinen ruoripotkuri on käännettävissä samalla lailla 360° kuin mekaaninenkin laite. Poikkeuksen tekevät varhaiset Azipod-laitteet joissa liukurenkaiden sijasta käytettiin kaapeleita. (Sippola 2011.)

3 LAITEVALMISTAJIA

3.1.1 Rolls-Royce: Ulstein-Aquamaster

Aquamasterin tarina alkaa Hollmingin konepajan kansiperämoottorin valmistuksesta palkoproomuihin. Aquamasterista on 45 vuoden aikana ehtinyt muodostua lähes synonyymi mekaaniselle potkurilaitteelle. Norjalainen Ulstein on toinen tunnettu valmistaja. Vickersin ja myöhemmin Rolls-Roycen hankittua molemmat valmistajat omistukseensa on tuotepaletti täydentynyt molempien valmistajien tuotteilla. Aquamaster on edelleen käytössä tuotenimenä, mutta sen rinnalle on tullut muita, kuten esimerkiksi Azipull ja Contaz. (Vaino 2007; Rolls-Royce www-sivut 2011.)

3.1.2 Schottel

Schottel on saksalainen potkurilaittevalmistaja, jolla on pitkät perinteet. Yritys on toiminut potkurilaitemarkkinoilla liki yhtä pitkään kuin Aquamaster. Määrällisesti ja tunnettavuudessa se on kuitenkin jäänyt Aquamasterin ja Ulsteinin jalkoihin. Nykyään Schottel on keskittynyt enemmän alempiin teholuokkiin ja esimerkiksi Keski-Euroopan jokialueilla laitteita on paljon käytössä. (Vaino 2007; Schottel www-sivut 2011; Jukola 2011.)

3.1.3 LIPS

LIPS on perinteikäs erilaisia propulsioratkaisuja toimittava yritys. LIPS:in tuoteportfolio on laaja, ja eikä rajoitu potkurilaitteisiin, vaan sisältää myös säätölapapotkurein varustetut akselilinjat. LIPS siirtyi Wärtsilä-yhtymän hallintaan 2000-luvun alkupuolella. LIPSin tuotteet ovatkin nykyään osa Wärtsilän tuotepalettia. (Wärtsilän www-sivut 2011.)

3.1.4 Steerprop

Vickersin hankittua sekä Aquamasterin ja Ulsteinin omistukseensa toteutettiin Rauman yksikössä muutoksia toimintojen johdon suhteen. Merkittävä osa entisiä Aquamasterin avaintyöntekijöitä otti lopputilin ja perustivat uuden potkurilaitteita valmistavan Steerprop-nimisen yrityksen. (Vaino 2007.) Yhtiö on toiminut 2000-luvun alusta lähtien. Yhtiön kokoonpano ja konttori sijaitsevat Raumalla. (Steerpropin www-sivut 2011.)

3.1.5 ABB – Azipod

Azipod-potkurilaitte sai alkunsa alunperin ABB:n, Wärtsilän ja Merenkulkulaitoksen yhteistyöprojektista. Erinäisten vaiheiden jälkeen Azipod-toiminta siirtyi kokonaisuudessaan ABB:n omistukseen vuonna 2000. Ensimmäiset asennukset tehtiin 1990-luvulla jääaluksiin, risteilijäkäytön seurattessa pian perästä. Azipodista on syntynyt hyvin vahva synonyymi sähköiselle potkurilaitteelle. Azipod on sähköisen ruoripotkurikäytön edelläkävijä ja ylivoimaisesti yleisin merkki. (ABB:n www-sivut 2011.)

3.1.6 ABB – Compact Azipod

Compact Azipod on alle 5MW:n luokkaan sijoittuva kestomagneettimoottorin ympärille rakennettu sähköinen potkurilaitte. Staattori on kiinni suoraan podin rungossa ja jäähtyy suoraan ympärillä olevaan veteen. Rakenteen mahdollistaa laitteen huomattavasti pienemmän halkaisijan, koska ilmakehää ei tarvita. Myös aluksen sisällä laitteen rakenne on huomattavan matala. Laitetta valmistettiin 2000-luvun alkupuolella jonkin aikaa Suomessa. Myöhemmin tuotanto oli keskeytyksissä, koska keskityttiin yksinomaan ”täyskokoiseen” Azipodiin. Nykyään Compact Azipodit valmistetaan yksinomaan Kiinassa, jossa niillä on oma tehdas ABB:n kestomagneettimoottoreita valmistavan tehtaan vieressä. (Sippola 2011.)

3.1.7 Alstom/RollsRoyce – Mermaid

Mermaid-potkurilaite syntyi Alstomin ja Rolls-Roycen yhteistyönä. Alstomin vastatessa ennen kaikkea sähköisestä- ja Rolls-Roycen mekaanisesta toteutuksesta. Laitteita toimitettiin jonkin verran 2000-luvun alkupuolella, kunnes luotettavuusongelmat lopettivat tuotannon pitkäksi aikaa. Nyt on kuitenkin tilattu uudisrakennus risteilijä johon tulee Mermaid-laitteet.

3.1.8 Siemens-Schottel – SSP

Siemensin ja Schottelin yhteistyönä syntynyt SSP-laitetta on toimitettu joitakin kappaleita, mutta kaupallinen menestys jäi aikanaan laihaksi.

4 AUTOLAUTAN PROPULSIO – LÄHTÖKOHDAT JA ERITYISVAATIMUKSET

4.1 Suunnittelun lähtökohdat ja vaatimukset propulsiojärjestelmän osalta

4.1.1 Telakointiaikaväli

Laivan telakointiaikavälitavoite on viisi vuotta, vaikka käytännössä autolauttojen osalta toteutunut aikaväli on lyhyempi liikenteen erikoisvaatimusten vuoksi. Tämä ei ole ongelma käytössä olevien propulsiojärjestelmien suhteen, koska laitevalmistajilla on lähtökohtana sama huoltoväli. (Snellman, Vasama, Huttunen 2008.)

4.1.2 Syvyyden asettamat rajoitteet

Suomessa suunnittelusyväys autolautalle on tavallisimmin 6,0-7,0 m, mikä asettaa rajoitteita niin rungon kuin propulsioinkin suhteen. Syväys on kriittinen tekijä potkurin maksimihalkaisijaa määrittäessä. Syväys on myös rajoittavana tekijänä esimerkiksi värähdesuunnittelun osalta, joka taas osaltaan asettaa oman vaatimuksensa propulsio suhteen. Nämä tekijät yhdessä määrittävät tarvittavien potkurien määrän ja koon. (Snellman, Vasama, Huttunen, 2008.)

4.1.3 Ohjailukyky

Ohjailukyky on autolautavarustamoiden prioriteettilistalla korkealla, asiaan kiinnitetään huomiota ja sen parantamiseksi ollaan kiinnostuneita vaihtoehtoisista ratkaisuista (Snellman, Vasama, Huttunen 2008; Rakkola 2011.). Vaikka autolautan konsepti propulsio kannalta on pysynyt jo pitkään hyvin samankaltaisena, on ohjailukyky parantunut dramaattisesti. Entistä suuremmat ja tehokkaammat tunnelipotkurit sekä mahdolliset tehoeräsimet ovat mahdollistaneet kolossaalisten alusten itsenäisen operoinnin saaristossa ja satamissa lähes kaikissa sääolosuhteissa. Ohjailukykyyn kannalta nykyinen autolautakonsepti täyttää tehtävänsä, mutta mahdollisesti lyhentynyt kääntöaika satamassa mahdollistaisi alhaisemman matkanopeuden ja sitä kautta alentaisi polttoainekustannuksia. Ohjailukykyyn paraneminen tukisi myös turvallisuus- ja ympäristöaspekteja. Vaikka melu- ja värähtelyvaatimukset eivät autolautassa olekaan yhtä korkealla, kuin varsinaisissa risteilijöissä, olisi varmasti autolautassakin etua potkurilaitteiden mahdollistamasta parantuneesta mukavuustasosta.

4.1.4 Autokansi

Propulsiovalinnan näkökulmasta autolautan merkittävin erityispiirre ja rajoittava tekijä on autokansi. Auto- tai roro-kansi on ensimmäinen vedenpinnan yläpuolinen kansi. Kansi halutaan toteuttaa luokituslaitosten sääntöjen puitteissa mahdollisimman avaraksi ja esteettömäksi lastin käsittelyn helpottamiseksi. Koska laivan peräosan

syväys on matala, muodostuu autokannen ja laivan rungon pohjan välisestä tilasta varsin ahdas. Tämä on erittäin merkittävä ja rajoittava tekijä laitesuunnittelua ajatellen. (Snellman, Vasama, Huttunen 2008; Rakkola 2011.)

4.1.5 Polttoaineen kulutus

Polttoaineen kulutus on suurin yksittäinen kuluerä laivan operoinnissa ja siksi sen pienentämiseksi tehdään kaikki taloudellisesti ja teknillisesti kohtuudella mahdollinen. Polttoaineen kulutuksen kohtuullistaminen ohjaa monia suunnitteluteknisiä ratkaisuja ja asiaan kiinnitetäänkin paljon huomiota. Polttoaineen säästöön tähtäävät ratkaisut maksavat kuitenkin useimmiten ylimääräistä, ja siksi saavutettavia polttoainesäästöjä ei välttämättä katsota riittävän suureksi suhteessa erikoisratkaisujen takia kasvaneisiin pääomakuluihin.

5 LOPULLISEEN VALINTAAN JOHTANEET TEKIJÄT

5.1 Autolautta Itämeren-liikenteeseen

5.1.1 Referenssikohteet

Ensimmäisenä referenssikohteena oli Tallinkille toimitettu perinteinen autolauttasarja, ja eri nimillä mutta samaan tekniseen suunnitteluun pohjautuva nopeakulkuinen päiväliikenteeseen tarkoitettu autolauttasarja. Tarkastelu suoritettiin yhteistyössä STX:n Rauman telakan suunnitteluosaston kanssa.

5.1.2 Autokansi määrävänä tekijänä

Tässä tyypillisessä Itämeren-liikenteeseen tehdyssä autolautassa perinteisen propulsioon kannalle päädyttiin lähinnä suunnittelullisista lähtökohdista. Azipodin

kannalta ratkaisevaksi ongelmaksi nähtiin sen sijoittaminen autokannella varustettuun autolauttaan. Azipodin tarvitsema tila pohjan yläpuolella ei mahdollistanut telakan mukaan laitteen sijoittamista suoraan ajokaistojen alle. Teoreettisena mallina on telakka esittänyt versiota, jossa kaksi Azipodia olisi sijoitettuna laivan peräkulmiin omiin huoneisiinsa. Tällöinkin ne rajoittaisivat ajorampin leveyttä ja olisivat äärimmäisen haavoittuvaisia esimerkiksi ohjailutilanteissa. (Snellman, Vasama, Huttunen 2008.)

5.1.3 Syväys ja tilajärjestely rajoittavana tekijänä

CRP-vaihtoehtoa ei ollut tutkittu, mutta sitä pidettiin syvyyden kannalta ongelmallisena, koska CRP-konsepti vaatii suuremman syvyyksen kuin kahden akselin ratkaisu. CRP-Azipod-konseptissa koettiin autokannen järjestely ongelmalliseksi samalla lailla kuin kahden Azipodinkin ratkaisussa. Autolautan sisäistä järjestystä propulsiojärjestelmälle lähtökohtaisesti sopivaksi ei ollut harkittu, vaan käytetty suunnittelupohja perustui jo olemassa oleviin akselivetoisiin malleihin. (Snellman, Vasama, Huttunen 2008.) Telakan projektisuunnittelussa ei oltu tietoisia mahdollisuudesta rakentaa Azipod matalammalla liukurenkaalla, mikä olisi saattanut antaa enemmän vapauksia laitetilajärjestelyyn kuin nyt käytössä olevalla tiedolla (Sippola 2011.)

5.1.4 Ei taloudellista vertailua

Eri teknisiä toteutuksia oli tutkittu periaatetasolla, mutta johtuen teknillisistä rajoituksista ei taloudellista vertailua suoritettu eri propulsiojärjestelmien välillä. Tilaajalla ei myöskään ollut tarvetta tai kiinnostusta tutkia tai tutkituttaa vaihtoehtoisia ratkaisuja. Laivan perussuunnittelu pohjautuikin pitkälti jo olemassa oleviin toteutuneisiin projekteihin. (Snellman, Vasama, Huttunen 2008.)

5.1.5 Tehon tarve rajoittavana tekijänä

Tämän projektin aikaan olivat mekaaniset potkurilaitteet poissuljettuja niiden rajoitetun tehonkeston takia ainakin kaksoisasennuksen osalta, eikä asiaa ollut sen

tarkemmin tutkittu. Asiaan tunnettiin kyllä kiinnostusta, mikäli laitteita alkaisi ilmaantua suuremmille teholuokille. (Snellman, Vasama, Huttunen 2008.)

5.2 Nopea RoPax-alus Itämeren liikenteeseen.

5.2.1 Referenssikohteet

Finnlinesin korkean nopeusluokan Itämeren liikenteeseen suunnitellun RoPax-alussarjan tarkastelu suoritettiin yhteistyössä Finnlinesin teknisen tarkastajan kanssa. (Vento 2008.)

5.2.2 Matemaattinen kustannusvertailu

Jo lähtökohtaisesti kyseessä oli haastava kohde suuren propulsiotehon vaatimuksen takia. Tämä sulki käytännössä mekaaniset potkurilaitteet täysin pois. Vaihtoehtoina oli perinteinen mekaanisen voimansiirron ja kahden akselin toteutus tai Azipod. Azipodista varustamo teki puhtaasti matemaattisperusteisen teoreettisen kustannusvertailun. Saavutetuilla säästöillä polttoainekuluissa ei laskettu katettavan suurempia investointikustannuksia, ja ratkaisu todettiin taloudellisesti kannattamattomaksi. Ulkopuolista tutkimusta asiasta ei teetetty. Tiettävästi muilla seikoilla ei ollut merkitystä propulsiovalinnan suhteen. (Vento 2008.)

5.2.3 Liikenneprofiili

Alussarjan liikennöintiprofiili on enemmän vapaan vesialueen alueelle painottuvaa kuin STX:n matkustaja-autolautoissa. Aluksen ohjailukyky on kuitenkin huomattavan hyvä Becker-tehoperäsimillä ja tehokkailla keulatunnelipotkureilla varustettuna. Tämä onkin edellytys tiukasti aikataulutetulle linjaliikenteelle. (Sunell 2008.)

5.3 Suuri matkustaja-autolautta Itämeren-liikenteeseen

5.3.1 Referenssikohteet

Viking Linen käyttöön suunnitellun, ei-aikaisempaan konseptiin perustuvan autolautan tarkastelu suoritettiin yhteistyössä STX:n Turun telakan suunnitteluosaston kanssa. Myös Steerpropin kanssa on käsitelty propulsiovalintaa heidän näkökulmastaan. Kyseessä oleva matkustaja-autolautta oli jo lähtökohdiltaan poikkeava muista vastaavista viime vuosina rakennetuista matkustaja-autolautoista. Projektin aikana suoritettiin runsaasti tutkimusta ja vertailua, ja myös tilaajan vaatimukset muuttuivat projektin aikana. Kyseessä onkin ehkä ainoa lähihistoriassa rakennettu autolautta, jossa suoritettiin laajamittaista ja ennakkoluulotonta eri vaihtoehtojen tutkimista myös propulsiojärjestelmien osalta.

5.3.2 Käytännön vaatimus dieselsähköisyydestä merkittävänä tekijänä propulsiovalinnan kannalta

Lähtökohdiltaan hiukan erilaisessa Viking Linen käyttöön tehdyssä autolautassa propulsiovalinta ei ollut ollenkaan selvä, vaan valikoitui vasta moninaisten vaiheiden jälkeen. Aluksen pääkoneiden pääasialliseksi käyttövoimaksi valikoitui nesteytetty maakaasu (liquified natural gas, LNG) muista kuin teknillisistä syistä. LNG-käyttöisistä generaattoriasennuksista on runsaasti kokemusta erityisesti maapuolelta, mutta myös meri-installaatioita on lukuisia. LNG-käytöstä suoraan mekaaniseen propulsioon kytkettynä ei kuitenkaan ole referenssiä ja kyseessä olisikin ollut tässä tapauksessa prototyypisovellutus mihin varustamo ei ollut halukas lähtemään. Valintahetkellä LNG ei soveltunut laitetoimittajan mukaan käytettäväksi matalalla kuormalla, vaan vaatii dieselille vaihdon, mikä aiheuttaisi ongelmia suorassa mekaanisesti kytketyssä propulsiossa, kun alusta joudutaan operoimaan matalan kuorman rajalla. Koska tilaaja ei lähtökohtaisesti myöskään halunnut akseligenaattoreita, koska tämä olisi johtanut erittäin suureen apukonekapasiteettiin. (Rakkola 2011.)

5.3.3 Propulsioratkaisujen vertailua

Diesel-mekaanista voimansiirtoa kuitenkin tutkittiin yhtenä ratkaisuna, monien muiden rinnalla. On huomattava, että aluksen hotellikuormaksi on laskettu 3,6 MW ja ohjailupotkurien tehoksi 4,4 MW. Tämä on verrattain suuri osuus suunnitellusta 20,2 MW kokonaispropulsiotehosta. Olikin puhtaasti taloudellinen valinta päätyä diesel-sähköiseen järjestelyyn, jolloin kokonaisinstallaatioteho pysyi järkevissä lukemissa. Myös kokonaispaino jäi voimalaitosperiaatteella pienemmäksi kuin mekaanisella propulsiolla toteutetussa ratkaisussa. Vaikka tilaaja olisi hyväksynyt akseligeneraattorit suoraan kytketyn mekaanisen voimansiirron yhteyteen, niin hinta olisi siltikin ollut samaa luokkaa kuin diesel-sähköisellä koneistolla ja akselivedolla. (Rakkola 2011.)

Dieselsähköisyys lähtökohtaisesti asettaa potkurilaitteet edulliseen asemaan, erityisesti Azipodin, mutta myös mekaaniset potkurilaitteet, jotka useimmiten on toteutettu sähkömoottorikäytöllä. Potkurilaiteratkaisut olivatkin mukana eri vaihtoehtoja haettaessa. (Rakkola 2011.)

5.3.4 Azipod

Azipodia kohtaan tunnettiin vahvaa kiinnostuneisuutta. Azipodin kannalta ratkaisevaksi ongelmiksi muodostui sen sijoittaminen autokannella varustettuun autolauttaan ja sen hinta. Azipodin tarvitsema tila pohjan yläpuolella ei mahdollistanut telakan mukaan laitteen sijoittamista suoraan ajokaistojen alle, vaikka uusi XO-sarjan laite on matalampi kuin aikaisempi malli (Sippola 2011.) Jo aiemmin nähty teoreettinen toteutusratkaisu, jossa Azipodeilla tehtäisiin omat pienet huoneet autokannen peräkulmiin, oli harkinnassa. Lautan kääntöaika satamassa on kuitenkin erittäin lyhyt ja tätä pidettiin merkittävänä ongelmana, koska se kaventaa peräramppeja oleellisesti. Kokonaisinvestointikustannus olisi ollut myös huomattavasti kalliimpi kuin akselilinjalla. Tarkkaa laskettua takaisinmaksuaikaa ei ole tiedossa. (Rakkola 2011.)

5.3.5 CRP-potkurilaitteet

Yhtenä vaihtoehtona oli Steerpropin valmistamat mekaaniset CRP-potkurilaitteet. Telakan mukaan myös mekaaniset potkurilaitteet olisivat vaatineet laitehuoneen autokannelle, mutta ihan viimeistä sovellutusta asiasta ei saatu. On kuitenkin mahdollista, että autokannen osalta olisi selvitty pienemmin muutoksin kuin Azipodin kohdalla, koska laitteen rungon sisäpuoliset rakenteet ovat matalammat ja sirommat kuin Azipodissa. Myös lopullinen hinta jäi laskematta, koska tilaaja ei lopulta halunnut lähteä kokeilemaan uutta sovellutusta. Kustannustasona mekaanisen potkurilaitteen osalta liikutaan kuitenkin suunnilleen samassa luokassa Azipodin kanssa. Steerpropin tarjoaman ECO-sarjan mekaanisen potkurilaitteen runko olisi ollut uusi, ja voimansiirron osalta niin sanottu ”up-scale” olemassa olevista laitteista. Vaikka varsinaisesta prototyypistä ei olisikaan ollut kyse, niin suorien referenssien puute ja kokonaan uudenlainen laitesovellutus tässä kokoluokassa ja alustyyppissä koettiin ilmeisesti liian suureksi harppaukseksi yhdessä LNG:n kanssa. LNG-käyttö tarjosikin ilmeisesti riittävästi vaatimuksia itsessään. (Rakkola 2011).

5.3.6 Vaihtoehtoisten propulsioratkaisujen hyötypotentiaali

ABB:n kokemusten ja tutkimusten mukaan Azipodilla saavutetaan 10 %:n säästö polttoainekustannuksissa. ABB:n referenssikohteet ovat sikäli päteviä, että kysymys on diesel-sähköisistä risteilijöistä, jotka ovat propulsiojärjestelyjen osalta hyvinkin lähellä nyt toteutunutta Viking Linen autolauttaa. (Kulovaara 2011.) Tapauskohtaisesti esitetty arvio Azipodilla tapahtuvasta hyötysuhteen paranemisesta on 10 %. Etuna olisi myös parantunut manöveerauskyky, joka saattaisi auttaa laskemaan edelleen hiukan matkanopeutta, ellei lastausaika pitenisi satamassa kaventuneen peräportin takia.

Steerpropin konservatiiviseksi luonnehdittu arvio tässä tapauksessa on noin 10 %:n säästö polttoainekustannuksissa. Muuten edut olisivat hyvin pitkälti samat kuin Azipodillakin. (Rakkola 2011; Jukola 2011.)

6 TOTEUTUNEIDEN RATKAISUJEN VAIHTOEHTOISIA MALLEJA

6.1 Kiinnostus vaihtoehtoisia propulsioratkaisuja kohtaan

Lähtiessäni tekemään taustatutkimusta ja keräämään aineistoa oletin perinteisten ratkaisujen valinnan johtuneen pitkälti ennakkoluuloista ja kiinnostuksen puutteesta uutta tekniikkaa kohtaan. Vaikka näkemyseroja esiintyikin eri osapuolilla, kävi hyvin selväksi, että kiinnostus uutta tekniikkaa ja vaihtoehtoisia ratkaisuja kohtaan on suurta ja lisääntyy koko ajan (ABB 2008; Rakkola 2011). Osittain tähän pakottavat poliittiset ja lainsäädännölliset syyt erityisesti ympäristövaatimusten suhteen. Merkittävimpänä tekijänä ovat kuitenkin puhtaasti liiketaloudelliset syyt. Polttoaineiden hinnan nousu on merkittävin yksittäinen tekijä, mutta yhtä lailla etsitään ratkaisuja operoinnin tehostamiseen. Esimerkiksi ohjailutilanteissa säästynyt aika voidaan hyödyntää joko hitaampana matkanopeutena tai tihentyneinä vuoroina.

6.2 Propulsiojärjestely Azipodeilla

6.2.1 Edut

ABB:n omien mallikoetutkimusten ja laskelmien mukaan dieselsähköinen Azipodeilla toteutettu järjestely olisi taloudellisesti kilpailukykyinen mekaanisesti toteutetun kaksi akselisen voimansiirron kanssa. Lisäksi autolautan ollessa kyseessä erityisinä etuina olisivat parantunut ohjailukyky ja dieselsähköisen koneiston helpompi säädettävyys kuorman suhteen. Etuina olisi myös alentunut värähtely- ja äänitaso.

6.2.2 Ongelmat

Lähtökohtaisesti hyvältä vaikuttavalla Azipod-ratkaisussa on asennusteknisesti ongelmana autolautassa laitteen aluksen sisäpuolisen laitteiston korkeus. Tämä

johtuu ilmajähdytteisestä rakenteesta ja liukurenkaan korkeudesta. Erityisen ongelmallista tämä on nopeahkoissa roro-aluksissa, joissa perän syväys on pieni ja autokansi verrattain matalalla. Autokannelle ei voida sijoittaa podien vaatimia laittiloja propulsioon kannalta optimaalisille paikoille. Tämä rajoittaisi liaksi autokannen lastausta ja purkausta, vaikka ABB:n uusi XO-sarjan Azipod on rakenteeltaan hiukan matalampi kuin edellisen sukupolven laite. XO-sarjakin on suunniteltu ennen kaikkea risteilijäkäyttöä ajatellen eikä autolautan erityisvaatimukset ole olleet suunnitteluvaiheessa määräävänä tekijänä. On myös mahdollista rakentaa matalampi liukurengasjärjestely, mutta tällöinkin puhutaan korkeintaan joidenkin senttien madalluksesta. Ilmajähdytysyksikön sijoitus etäämmälle itse potkurilaitteesta tai jähdytysyksikön toteutus matalammalla rakenteella on mahdollista. Yhdessä nämäkään järjestelyt eivät kuitenkaan riitä Azipodin mahduttamiseksi autokannen alle kokonaisuudessaan. Sen sijaan esimerkiksi kiinteän yläkannelle johtavan rampin alle mahtumiseksi tämä saattaa olla ratkaisu. Esimerkiksi Azipod-CRP-toteutuksessa edellisen mallisukupolven Azipod oli toteutettu matalammalla liukurengasjärjestelyllä. (Sippola 2011.)

6.2.3 Kustannuslaskelmat ja kannattavuus

Missään julkisuudessa ei ole esitetty riippumattoman tahon laatimaa perusteellista kustannusvertailu Azipodin takaisinmaksuajasta, ja tästä onkin ristiriitaista tietoa. Kuitenkin tilaaja teettää yleensä mallikokeet ja elinkaarilaskelmat, ja osassa tapauksia on päädytty Azipodiin, joten ABBkin esittämiä arvioita ei voi pitää ainakaan kaikissa tapauksissa väärinä. Riippuen vertailukohdasta saadaan hyvinkin erilaisia lukuja, ja tässä kohdin ABB:n esittämien laskelmien täytyy olla ristiriidassa eri projektien kohdalla tehtyjen laskelmien kanssa, muutoin Azipodiin olisi varmasti päädytty useammin. Ainakin osassa tapauksia myös referenssien puute on saattanut kallistaa vaa'an Azipodin kannalta epäedulliseen suuntaan. Erityisesti näin on jos kustannuslaskelmat ovat epävarmoja tai jos niissä ei ole merkittävää eroa. Kokemusperäiset tulokset kuitenkin tukevat ABB:n esittämiä hyötysuhteen malleja ja hintahan on tilaajan tiedossa, joten kustannuslaskelmien tekemisten pitäisi onnistua.

6.3 Propulsiojärjestely Compact Azipodeilla

Compact Azipod tai nykyisin C Azipod on asennettuna kolmeen junalauttaan, jotka liikennöivät Yantain ja Dalianin välillä (Maritime Executiven www-sivut 2011). Tarkempia tietoja näistä lautoista ei saatu, mutta ilmeisesti operaattori on ollut tyytyväinen propulsiovalintaan. C-sarjan rajoittavana tekijänä ajatellen normaalin kokoluokan matkustaja-autolauttaa on sen riittämätön teho. Jääluokattoman C-sarjan Azipodin maksimiteho on korkeintaan 4,5 MW, mikä sulkee pois suuren osan autolautta sovellutuksista. C-sarjan laite olisi periaatteessa sopiva roro-alukseen koska laitteen sijoitus on huomattavasti helpompaa autokannen alle johtuen ilmajäähdytysyksikön tarpeettomuudesta. (Sippola 2011.)

6.4 Propulsiojärjestely CRP-Azipod

6.4.1 Referenssiaineiston luotettavuus ja vertailukelpoisuus

CRP-Azipod-konsepteja on tähän asti ollut toteutuneena vain yksi projekti. Japanilainen autolautta operaattori Shin Nihonkai Ferry tilasi kaksi samanlaista laivaa samalle linjalle vuoropareiksi. Laivat ovat olleet liikenteessä vuodesta 2004 alkaen, joten pitkän aikavälin todellisen mittakaavan suoritusarvoja ja kokemuksia on saatavilla (Anderson, Hackman 2005.) CRP-propulsiolla varustettu aluspari on liikennöinyt parillakin eri reitillä, joilla on ollut myös vastaavia perinteisellä kahden akselin propulsiolla varustettuja aluksia liikenteessä. Täten suorituskyvystä kerätty tieto onkin mitä erinomaisinta täyden mittakaavan vertailutietoa. Saatuun informaation tulee suhtautua pienellä varauksella, koska kyse on yksin ABB:n toimittamasta materiaalista. Tiedot ovat kuitenkin peräisin varustamolta, enkä näe niissä mitään epäloogisuutta, jonka perusteella olisi syytä epäillä tietojen luotettavuutta. Ainoa merkittävä epävarmuustekijä verrattaessa laivoja keskenään on vuonna 1995 valmistuneiden akselivetoisten alusten korkeampi ikä ja sitä myöden vanhempi hydrodynaaminen suunnittelu ja laitekanta (Anderson, Hackman 2005.) Näiden tekijöiden merkitys CRP-Azipod-konseptin vertailukohtana heikentää vertailun matemaattista tarkkuutta. Käytännön kokemukset ovat kuitenkin linjassa

mallikokeissa saatujen tulosten kanssa (Turtiainen, M 2005). Konseptin kokonaistaloudellisuudesta ja luotettavuudesta täytyy kertoa jotain se, että sama varustamo on nyt tilannut kaksi autolauttaa lisää vastaavalla propulsiojärjestelyllä varustettuna. Ainakin erittäin korkean nopeusluokan aluksissa konseptin toimivuudesta on siis saatu uskottava pitkän aikavälin referenssi. (Sippola 2011.)

6.4.2 Todistettua taloudellisuutta

Shin Nihonkai ferries on raportoinut 20 % pienemmästä kulutuksesta vastaavalla reitillä kuin vanhemmat akselivetoiset alukset (Anderson, Hackman 2005.) Mallikokeissa CRP-Azipod konseptilla on saavutettu 10 % pienempi kulutus 29kn vauhdissa. (Turtiainen 2005.) Olettaen, että uudet kaksiakseliset lautat tarvitsevat 10 % vähemmän energiaa tietokonepohjaisen laskennallisen hydrodynamiikkasuunnittelun (CFD) ansiosta verrattuna vanhoihin lauttoihin (Snellman, Vasama, Huttunen 2008; Rakkola 2011), tukee tämä teoreettinen tarkastelu 20 %:n kokonaiskulutuseroa uusien CRP-Azipod-lauttojen ja vanhojen akselivetoisten lauttojen välillä. Lisäksi on syytä huomioida uusien CRP-lauttojen olevan lastikapasiteetiltaan 15 % suurempia ja 1,1 solmua nopeampia kuin reitillä aikaisemmin operoineet akselivetoiset lautat. Myös alusten kääntöaika satamassa lyheni 25 %. (Anderson, Hackman 2005.)

Hiljattain voimaan tulleet Safe Return to Port – määräykset ovat nostaneet perinteisen akselilinjatoteutuksen hintaa, koska vaatimus redundanttisuudesta on huomattavasti aikaisempaa korkeampi. CRP-Azipod-järjestelyllä redundanttisuuden tuoma lisähinta olisi suhteessa hiukan pienempi ja saattaisi näin ollen pienentää CRP-järjestelyn hintaeroa. (Snellman, Huttunen 2011.)

6.5 CRP-propulsiojärjestely mekaanisen potkurilaitteen ja suoran akselin yhdistelmänä

Erityisesti Wärtsilä on tuonut esille erilaisin mallikokein CRP-propulsiojärjestelyä, jossa Azipod olisi korvattu mekaanisella potkurilaitteella. Toistaiseksi ei kuitenkaan ole yhtään toteutunutta projektia. Wärtsilän malleissa pyritään tuottamaan

mekaanisella potkurilaitteella vastaava hyöty kuin sähköisessä Azipod-mallissa. Ratkaisun eduksi verrattuna Azipodiin voidaan laskea mekaanisten potkurilaitteiden yleisyys ja siten ehkä helpommin voitettavissa olevat ennakkoluulot. Wärtsilän tutkimuksissa on myös otettu huomioon eri potkurilaiteratkaisujen sijoitusongelma autokannellisessa aluksissa suunnitteleamalla tilajärjestely jo alusta alkaen propulsiotyypille sopivaksi. Mekaanisten potkurilaitteiden suurimman tehon rajoittuneisuus on ratkaistu suuremmalla määrällä potkurilaitteyksikköjä. Samaan alukseen on esitetty jopa kolmea potkurilaitetta ja yhtä perinteistä akselia ”single skeg”-tyyppisellä rungolla. Yksiskegisen rungon hyvä hydrodynamiikka pääsisi oikeuksiinsa samalla, kun redundanssi ja manöveerauskyky paranisivat potkurilaitteiden myötä.

Konseptin heikkoutena voi pitää mekaanisten potkurilaitteiden rajoitetusta tehon kestosta johtuvaa rajoittunutta kokonaistehoa tai vastaavasti suurta lukumäärää potkurilaitteita. Mekaanisen potkurilaitteen voimansiirtohäviöt ovat Azipodia pienemmät, mikäli laite on suoraan mekaanisesti kytkettynä voimanlähteelle. Suora mekaaninen kytkentä on kuitenkin rajoittava tekijä propulsiojärjestelyn säädettävyyttä ajatellen. Käytännössä suuremmassa autolautassa olisikin dieselsähköinen koneisto todennäköisin vaihtoehto. Talloin on kuitenkin kyseenalaista saavutettaisiinko mitään teknistä etua CRP-Azipodiin nähden.

6.6 CRP-järjestelyn ongelmakohtia

6.6.1 Ulkoisten tekijöiden rajoitukset hydrodynamiikan suhteen

CRP-järjestely kasvattaa laivan kokonaispituutta jonkin verran verrattaessa vastaavaan kaksiakseliseen autolauttaan. Suurempien autolauttojen yhtenä rajoittavana parametrina on pituus. Jos suurin sallittu pituus pysyisi samana johtaisi tämä suurempaan täyteläisyyskertoimeen CRP-aluksessa ja sitä kautta kohonneeseen kulkuvastukseen. (Snellman, Vasama, Huttunen 2008.)

CRP-yhdistelmän vaatima syväys on suurempi kuin kahden akselilinjan ratkaisussa ja saattaa olla ongelma riittävän pieneen suunnittelusyväyteen pyrittäessä (Snellman, Vasama, Huttunen 2008.) Jos laivalla operoitava reitti sisältää runsaasti tiukkoja käännöksiä, matkanopeudella saattaa kavitointi olla ongelmana, kun ohjaava potkurilaitte kohtaa akselilla olevan potkurin jättämän virtauskentän epäedullisessa kulmassa. Azipodin käänkökulma onkin rajoitettu CRP-ratkaisussa suuremmissa nopeuksissa. Pääasiassa avoimella merialueella liikennöivässä aluksessa tämä ei ole pitäisi olla ongelma. (Anderson, Hackman 2005.)

6.7 Propulsiojärjestely suoran akselin, hydrodynaamisen peräsimen ja potkurilaitteiden yhdistelmänä.

6.7.1 Toteutus olemassa olevista komponenteista

Wärtsilän esittelemässä mallissa aluksen runko olisi edelleen yksiskeginen jossa normaalin potkurin takana olisi hydrodynaamisesti muotoiltu tehoperäsin. Peräsimen muotoilulla ja integroinnilla osaksi akselilinjaa saadaan paremmin hyödynnettyä potkurin rotaatioenergiaa ja pienennettyä kulkuvastusta. Ratkaisusta on jo sovellutuksia rahtilaivoissa. (Energopac 2010.) Matkustaja-autolauttaan sovelletussa mallissa akselilinjan lisäksi olisi kaksi potkurilaitetta. Mekaanisten potkurilaitteiden kulmavaihteen mahduttaminen autokannen alle olisi ehkä mahdollista. Myös teholuokaltaan riittävästä laitteista on jo kokemusta esimerkiksi kuten Itämeren jäänmurtaajan Moskvassa. Vastaava konsepti on käytössä offshorealuksissa kuten Viking Visionissa ja Aker Solutionssissa. (Encyclopedia of Ship Technology 2008.)

6.7.2 Edut

Kaksi ruoripotkuria varmistaisi hyvän hallittavuuden satamissa, kun tehoperäsin huolehtisi suunnanpidosta normaalissa ajossa minimoiden täten rasituksen potkurilaitteiden käänkökehän laakeroinnille. Yksiskeginen runko on virtausvastukseltaan jo lähtökohtaisesti edullinen, joten kokonaisuus olisi varmasti energiatehokas.

6.7.3 Haitat

Tässäkin tapauksessa mekaanisten ruoripotkurien teholuokka ja tyyppi olisivat uutta sovellusta josta ei entuudestaan ole suoraan vastaavaa kokemusta. Pienempi potkurilaitte kestävä pienempiä jääkuormia kuin iso, vaikka sinänsä laitteen jääluokka pysyisi samana. Tällöin kaksi pientä laitetta akselilinjan lisäksi olisivat haavoittuvampia kuin ainoastaan kahteen suurempaan potkurilaitteeseen nojaava propulsioratkaisu. (Jukola 2011.)

6.8 Potkurilaitteiden edut erikoistilanteissa

Potkurilaitteiden erinomainen ohjailukyky on hyvin tunnettu ja monissa tapauksissa yksi määräävistä valintaperusteista. Jäätämurtavissa aluksissa erityisesti Azipod-sovellutuksista on saatu erinomaisia kokemuksia. Tällöin on kuitenkin kyseessä yleensä jo alusta alkaen potkurilaitteelle suunniteltu alus, eikä näin ollen asia ole suoraan vertauskelpoinen. Nesteen kaksi Lintu-luokan laivaa muunnettiin aikanaan Azipodeilla toimiviksi alkuperäisen normaalin akselivedon sijasta. Aluksien ohjailu- ja etenemiskyky jääajossa muuttui täysin vaikka aluksen runko ja etenemistapa jäissä pysyivät samoina. (Bruun-Riigels 2011.) Vaikka autolautan jäihin kiinnijääminen on harvinaista ja erikoistapaus, voi ääriolosuhteissa koetun antavan osviittaa operointikyvyn paranemiselle esimerkiksi irtojäältä täynnä olevassa satama altaassa. Vaikka kesällä tunnelipotkurit ja tehoperäsimet riittävätkin valtaosaan manöveeraustilanteita, niin talvella pakkautuva jää aiheuttaa ongelmia satamissa joihin ei tunnelipotkureista ole apua. Kääntöaika satamassa pitenee ja myöhästymiset lisääntyvät.

6.9 Propulsiovaihtoehtojen kustannusvertailujen luotettavuus

Vaihtoehtoisten propulsioratkaisujen toimittajat ovat teettäneet tutkimuksia ja tehneet laskelmia investointien kannattavuudesta. Investointikustannuksien osalta on kuitenkin merkittävää komponenttien oikea kustannusarviointi. Jossain laskelmissa on mahdollisesti liioiteltu akselilinjan ja peräsinyhdistelmän kokonaiskustannuksia ja siten pienennetty potkurilaitteen vaatiman suhteellisen lisäinvestoinnin hintaa

(Snellman, Vasama, Huttunen 2008.) Tämä on yksi merkittävimpiä epävarmuustekijöitä taloudellisuusvertailussa potkurilaitteisiin.

Vaikka potkurilaittevalmistajien mallikokeet osoittavat järjestelmällisesti suoran akselin suuremman propulsiotehon tarpeen, ei ole täysin selvää, onko suoran akselin vertailukohta aina täysin vertailukelpoinen. Suoraan akseliinkin nojaavassa ratkaisussa on tietokonepohjaisen CFD-mallinnuksen ansiosta vastaavan aluksen rungon vaatiman tehon tarve laskenut viimeisen kymmenen vuoden aikana 15 % (Snellman, Vasama, Huttunen 2008.) Tämä siis täysin vastaavalla toteutuksella ja ainoastaan rungon ja propulsion muotoilun ja sijoittelun optimoinnilla. Tätä voidaan pitää epävarmuustekijänä verrattaessa eri toteutusten taloudellisuutta. ABB:n mukaan Azipod on 8 % taloudellisempi kuin vastaava mekaaninen single skeg, twin shaft –konfiguraatio. Rauman telakan näkemyksen mukaan Azipodin vastaava etu on noin 7 %. Kovin suuresta näkemyserosta ei siis ole kysymys, ja onhan mallikokeita teetetty riippumattomissa koelaitoksissa. Suomessa kattavimmat tutkimukset tehtiin aikanaan RCCL:n Voyager-luokkaa varten (Snellman, Huttunen 2011). Shin Nihonkain CRP-projektissa asiasta tutkimuksen teki rakentajatelakka, ja tällöin päädyttiin potkurilaiteratkaisuun (Anderson, Hackman 2005.) Toisaalta taas myös uuden sukupolven Azipod on edeltäjiään pienempi rungon kulkuvastuksen osalta, joten tämä voi hienoisesti parantaa Azipodin hyötysuhdetta moderneihin akselitoteutuksiin verrattuna.

6.10 Referenssikohteiden puute lisää riskiä

Vaikka autolautat ovat kehittyneet vuosien aikana, on suurin kehitys tapahtunut komponenttitasolla, eikä konsepti ole juurikaan muuttunut sitten vuoden 1961. Tämä pätee varsin pitkälti kuljetuskoneistoon ja sen järjestelyyn. Ehkä merkittävin muutos on monimoottorikäyttö samalla akselilla. Tiukasti aikataulutetussa liikenteessä jossa kalustoinvestoinnit ovat suuret ja pitkäaikaiset on ymmärrettävää, että epäonnistuneisiin kokeiluihin ei ole varaa, eikä vaihtoehtoisista propulsioratkaisuista ole tässä autolauttakokoluokassa kokemusta.

6.11 Argumentteja suoran akselivedon puolesta

6.11.1 Investointikustannukset

Suoran akselin ratkaisussa investointikustannukset rakennusvaiheessa ovat pienimmät. Myös järjestelmän huoltokustannukset ovat alhaisemmat kuin potkurilaitteella toteutetulla järjestelyllä, jos tarkastellaan vain itse propulsiolaitteistoa.

6.11.2 Laaja referenssiaineisto

Ehkä merkittävimpänä etuna perinteisellä suoralla akselivedolla on sen tunnettuisuus. Se on käyttäjilleen ratkaisuna tuttu, ja myös sen kustannukset pystytään laskemaan erittäin tarkasti ja luotettavasti. Akseli ja peräsimet järjestelmineen ovat kokonaisuudessaan edulliset laivan kuljetuskoneiston kokonaishintaan suhteutettuna. (Snellman, Vasama, Huttunen 2008.) Laaja valikoima eri järjestelmätoimittajia on paitsi tuotehintakilpailulle edullista, ja se mahdollistaa laivan peruskonseptin suunnittelun ilman, että sitouduttaisiin liian aikaisessa vaiheessa johonkin tietyn järjestelmätoimittajan ratkaisuun. Verrattain yksinkertainen toteutus komponenttitasolla on myös omiaan alentamaan kustannuksia. Laittevalmistajia on useita, koska konsepti on ollut pitkään ja laajalti käytössä. Tämä parantaa saatavuutta ja mahdollistaa tehokkaan kilpailuttamisen.

6.11.3 Hydrodynaamiset rajoitteet

Suoran akselin ratkaisussa järjestelyn negatiiviset aspektit ovat ennen kaikkea sen vedenalaisissa osissa. Potkurin kulma rungon ja siten virtaavan veden suhteen ei ole valittavissa, vaan on akselin asennuskulman mukainen. Tämä ei ole veden virtauksen kannalta kaikista optimaalisin ratkaisu nimenomaan moniakselisissa sovelluksissa. Toinen haittaava tekijä on hylsän tuenta. Tuennat aiheuttavat virtausvastusta, mikä korostuu nopeissa aluksissa. Erilaiset ulokkeet ennen potkureita muodostavat häiriöitä virtauskenttään. Potkurin toimiessa epätasaisessa painekentässä aiheuttaa se

tärinää ja meteliä. Tämä on yksi merkittävä tekijä, miksi risteilijöissä on pyrkimystä muun kuin suoran akselin käyttöön.

Suoralle akselille kytketty potkuri ei luonnollisesti myöskään ole kykeneväinen tuottamaan sivuttaistyöntöä manöveeraustilanteessa. Asia on ratkaistavissa joko yhdellä, tai useammalla tunnelipotkurilla, tai ohjaamalla peräsimellä potkurin tuottamaa virtausta pääpropulsion ristiinkäytössä. Kumpikaan ratkaisu ei ole yhtä tehokas kuin ruoripotkurilaite, mutta oikein mitoitettuna se riittää valtaosassa ohjailutilanteita. Tunnelipotkurit itsessään ja säätösiipipotkurit erityisesti ristiin käytettäessä aiheuttavat kuitenkin erittäin huomattavia melu ja värähtely ongelmia. Esimerkiksi satamassakäynti esimerkiksi öiseen aikaan saattaa olla matkustustajamukavuuden kannalta ongelma.

6.12 Tilaaajan vaatimukset propulsiosovellutusten tai -tutkimusten suhteen

Jo lähtökohtaisesti saattaa tilaajalla olla näkemys haluamastaan propulsiojärjestelystä. Yhtään selkeää tapausta en kuitenkaan tavannut jossa autolautan osalta olisi propulsiojärjestely ollut ennakoita määriteltynä. Yleiseltä sen sijaan vaikutti aikaisempien projektien pohjalta luotu sovellus ja konsepti, jota ei sen kummemmin kyseenalaistettu. (Snellman, Vasama, Huttunen 2008.)

6.13 Propulsion luotettavuusarviointi

Ehkä hankalimmin arvioitava aspekti on propulsion luotettavuuden arviointi. Luotettavan ja puolueettoman tiedon saaminen saattaa olla liki mahdotonta. Valmistajilla on esittää aineistoa, mutta sen puolueettomuuteen ei voi aukottomasti luottaa. Onkin ymmärrettävää, että varustamoiden omat kokemukset ja mielipiteet saattavat olla ratkaisevassa asemassa. Tilastot eivät myöskään anna välttämättä oikeaa kuvaa tämänhetkisestä laitekannasta, koska verrattain aikaisessa kehitysvaiheessa olevan potkurilaitekannan luotettavuus on parantunut viimeisissä

sukupolvissa. Tämä ei niinkään ole ongelma mekaanisten potkurilaitteiden kohdalla, mutta se on merkittävä Azipodista puhuttaessa. (Sippola 2011.)

6.13.1 Referenssiaineiston niukkuus lisää epävirallisen tiedon merkitystä

Valmistajan mukaan Azipodilla on varsin hyvä luotettavuusreferenssi, ja 98 % ”availability” operoinnissa (Sippola 2011.) Toisaalta ei kuitenkaan eritellä tilannetta, jossa on esimerkiksi jouduttu ajamaan alennetulla nopeudella potkurilaitteen väliaikaisesti rajoitetun tehonkeston vuoksi. Hyvä ”track record” ja julkisuudessakin olleet ongelmat ovatkin osin vahvasti ristiriidassa Azipodin kohdalla. Selitystä voi hakea kahdesta eri näkökulmasta. Joko ABB:n esittämä aineisto ei pidä paikkaansa, mikä on epätodennäköistä, tai kriteerit on valittu sopivasti, jolloin ongelmat eivät näy täysimääräisenä tilastoissa esimerkiksi pienempien korjauksien osalta. Toisena näkökantana on, että uudenaikaisen tekniikan ongelmat saavat suhteettoman paljon huomiota. Azipodeissa on ollut laakeriongelmia, mutta kuinka merkittäviä ja yleisiä nämä todellisuudessa ovat olleet, on hankala määritellä. Tuoreen tekniikan suhteen kyse saattaa olla myös normaaleista elinkaaren alkupäähän liittyvistä ongelmista. Missä määrin ongelmat on ratkaistu uusissa laitteissa, ei luotettavasti pystytä vielä vastaamaan. Kerrotaan kuitenkin esimerkiksi Venäjälle toimitettujen jääluokkaan rakennettujen laitteiden toimineen pääasiassa erittäin hyvin (Sippola 2011.) Omasta kokemuksesta tiedän teknisen laitteen kantavan tuotannon alkuvaiheen teknisten vaikeuksien aiheuttamaa viittaa vielä pitkään ongelmien ratkaisun jälkeenkin. Myös ABB:n oma aineisto tukee käsitystä jossa luotettavuus paranee laitteen iän myötä. (Sippola 2011.)

6.13.2 Varustamon mielipiteen merkitys

Ainoa tapaus jossa tilaajalla oli selkeä käsitys haluamastaan propulsiosta oli Mayer Werftin Aida-toimitus. Kyseessä ei ole autolautta, vaan risteilyalus. Risteilijöissä Azipodista on tullut vallitseva propulsiojärjestely. Aidan omistava yritys on osa Carnival-yhtymää. Carnivalin laivoja ei ole toimitettu ruoripotkureilla pitkään aikaan. Tilaaja oli halunnut lähtökohtaisesti akselivedon, mitä ilmeisemmin

luotettavuus- ja huoltonäkökohtiin perustuen. (Maeyer Werft 2008.) Tarkkaa tietoa päätöksen taustoista ei saatu, koska varustamon edustajia ei ole päästy haastattelemaan. Vaikka kyseessä ei ole autolautta, voi tämän katsoa peilaavan käsityksiä uusien propulsiojärjestelmien riskeistä, ja heijastuvan ainakin jossain määrin Carnivalin omista kokemuksista. Toisaalta Carnivalilla on erittäin konservatiivinen lähestyminen tiettyihin asioihin, ja jopa tiettyä ylivarovaisuutta propulsioon suhteen saattaa esiintyä (Rakkola 2011). Samoilla risteilymarkkinoilla toimiva (”Royal Caribbean Cruises Ltd. RCCL”)-konserni taas pitää ruoripotkureita ylivoimaisena vaihtoehtona (Hakala 2010). Tässäkään asiassa ei näytä olevan selkeää totuutta, vaan mielipiteillä on selkeästi vaikutusta, koska taloudellisten tekijöiden pitäisi olla samat kummallakin varustamolla.

6.13.3 Laitemitoituksen ja hintakilpailun merkitys luotettavuudelle

Mekaanisista potkurilaitteista on pienemmissä teholuokissa runsaasti kokemusta, eikä niitä kohtaan pitäisi tuntea enää ennakkoluuloja. Toisaalta mekaanisissa potkurilaitteissa on ollut viime aikoinakin ongelmia voimansiirron kestävyys suhteen. Ongelmat liittyvät kuitenkin ainakin osassa tapauksia kohteisiin, joissa potkurilaitteen voi katsoa olevan alimitoitettu käyttötarkoitukseensa nähden. Mekaanisissa potkurilaitteissa laakeriongelmat eivät ole yleisiä, mutta vastaavasti hammaspyörävaurioita on esiintynyt (Kulmala 2011; Jukola 2011). Välttämättä ei siis ole ongelmana muu, kuin tilaajan halu säästää investointikustannuksissa mahdollisimman paljon. Kova kilpailu on ajanut laitevalmistajat tilanteeseen, jossa varmuusmarginaalit ovat pieniä kustannuksien nimissä.

Päinvastainen tilanne on jääluokkiin rakennetuilla Azipodeilla. ABB:n mukaan luokituslaitosten vaatimukset mitoitus suhteen ovat ylimitoitettuja todellisessa käytössä kerätyn numeerisen tiedon perusteella. Myös empiirinen tieto tukee tätä seikkaa ja korkeisiin jääluokkiin rakennetuissa Azipodeissa raportoidaan koetun vähemmän mekaanisia ongelmia kuin jääluokattomissa. (Sippola 2011; U.S. Department of Transportation 2003, 2-3.)

6.13.4 Tiivisteongelmat

Tiivistevuodot ovat tunnettuja ongelmia potkurilaitteissa jääajossa. Kyseiset referenssit ovat kuitenkin laitekannan alkupään sovelluksia kuten Fennica/Nordica-Aquamaster ja Botnica-Azipod. Minulla ei ollut mahdollisuutta päästä tutustumaan myöhemmin valmistuneisiin yksiköihin, miten niissä on pystytty ratkaisemaan. On myös hyvä muistaa tavallistenkin akselilinjojen kärsivän hylsän öljyvuodoista erityisesti manöveeraustilanteissa. Akselilinja sietää kuitenkin kohtuullisen määrän vettä hylsässä, jossa ei ole akselin lisäksi muita voimansiirron komponentteja. Potkurilaitteen ollessa kyseessä vettä ei saa päästä laitteen sisälle johtuen hammaspyöristä tai sähkömoottorista.

7 YHTEENVETO

7.1 Propulsioista

Lähdettäessä tekemään tutkimusta oli tarkoitus lähinnä yksinkertaisesti selvittää, millä perusteilla propulsiovalinnat autolautoissa tehdään. Kysymys osoittautuikin paljon moniulotteisemmaksi kuin osasin arvata, ja paljon ristiriitaista tietoa tuli esille. Vaatimukset propulsiolle olivat sinänsä melko yksiselitteiset ja suoraviivaiset, mutta perustelut lopullisille valinnoille eivät olleet aukottomia ja jättivät tilaa vaihtoehdoille. Työ muotoutuikin edetessään entistä enemmän tutkivaan ja kyseenalaistavaan suuntaan samalla, kun keskityttiin selvittämään uusien vaihtoehtoisten propulsioratkaisujen toteuttamismahdollisuuksia reaalielämässä.

Tutkimusta aloitettaessa oli mielenkiintoista havaita, että toteutuneet autolauttaprojektit olivat hyvin pitkälti vanhojen projektien edelleen kehitelmiä. Vaihtoehtoisia sovellutuksia ei juurikaan tutkittu, ja suunnittelussa muutenkin nojattiin vahvasti kokemuseräiseen tietoon ja osaamiseen, rajojen hakemisesta puhumattakaan. Täyden mittakaavan empiirinen tieto on arvokasta, eikä sitä

ainakaan vielä pystytä täysimääräisesti korvaamaan muulla tavoin, kuten esimerkiksi tietokonepohjaisella mallinnuksella. Taloudelliset tekijät ovat myös osasyynä telakoiden halulle hyödyntää vanhoja suunnitelmia mahdollisimman paljon soveltuvien osien. Tällä on ehkä jossain määrin merkitystä hintakilpailunkin kannalta, mutta vaikutti siltä että telakka on suurin hyötyjä tilanteessa, jossa ei tarvitse luoda täysin uutta, vaan hyödynnetään jo olemassa olevaa aineistoa mahdollisimman paljon.

Tutkimusprosessi aloitettiin jo keväällä 2008. Reilun kolmen vuoden aikana on ollut mahdollista havaita selvä muutos vaatimuksissa nykyajan autolautalle. Uudet suunnittelu- ja rakennusvaatimukset, kuten myös rangaistusluonteiset maksut ja verot ovat vaikuttaneet paitsi suoraan autolautan rakentamiseen, niin myös ennen kaikkea sen operointikustannuksiin. Operointikustannukset ovatkin ehkä entistä merkittävämpi tekijä, ja autolauttaa tilatessa kiinnitetäänkin entistä enemmän huomiota elinkaarikustannuksiin. Merenkulkualakaan ei ole pysynyt immuunina lisääntyville vaatimuksille ympäristöystävällisyyden suhteen, ja ympäristöystävällisyydestä onkin tulossa entistä enemmän edellytys toiminnalle, kuin varsinainen yritys erottautua massasta.

Laivanrakennuksen ilmapiirissä on selkeästi muutosta, ja sekä telakan että laitevalmistajien puolelta kerrotaan varustamoiden olevan erittäin kiinnostuneita uusista sovelluksista. Edelleen on kuitenkin havaittavissa tiettyä arkuutta uusia sovelluksia kohtaan. Referenssien puute tai niiden rajallisuus saattaa nostaa riskin tilaajan näkökulmasta turhan korkealle, koska puhutaan kuitenkin suuresta ja pitkäaikaisesta pääomasatsauksesta. Meriteollisuudessa merkittävää muutosta on tapahtunut lähinnä vasta 1990-luvulta alkaen, ja nyt tahti näyttää vain kiihtyvän.

Tutkimus on ollut sikäli hankala, että monia vastauksia ei ole saatavilla ja useiden vastausten löytäminen on ollut melkoisen haasteellista. Moniin kysymyksiin ei myös yksinkertaisesti ole yhtä ainoaa vastausta ja ratkaisua. Haasteellista onkin löytää mahdollisimman lähellä totuutta oleva vastaus. Monissa asioissa on yllättävän paljon mielipide-eroja alan asiantuntijoiden välillä, ja lopputulos voi muuttua täysin pienellä lähestymistavan muutoksella tai eri tekijöiden painotuksella.

7.2 Opinnäytetyöstä

Tutkimusprosessi on ollut erittäin mielenkiintoinen ja antoisa. Erityisesti haastatteluista alan todellisten asiantuntijoiden kanssa on jäänyt valtava määrä informaatiota ja laajempaa ymmärtämystä, tietysti itse tutkimukseen liittyen, mutta myös aiheen ulkopuolelle jäävistä asioista.

Tutkimuksen rajaus onnistui hyvin. Oli onnistunut päätös rajata itse työ jo alkuvaiheessa vain autolauttoihin, vaikka välillä lipsumisen mahdollisuus oli suuri. Lähdettäessä tekemään tutkimusta oli tarkoituksena tarkastella propulsiojärjestelmää laajempana kokonaisuutena pääkoneet mukaan lukien. Kuitenkin jo hyvin aikaisessa vaiheessa totesin pääkoneet selkeästi omaksi asiakseen, ja propulsiolaitteet huomattavasti kiinnostavammaksi ja enemmän kysymysmerkkejä sisältäväksi aspektiksi. Missään vaiheessa ei tullut varsinaista ongelmaa aiheen rönsyilystä, vaan rajausta jouduttiin tekemään työn edetessä lähinnä siinä, kuinka syvällisesti asioita käsitellään ja kuinka paljon otetaan omia näkökantoja ja kysymyksiä esille.

Suurin ongelma työn tekemisessä oli sen alkuvaiheessa se, miten käsittelen ja esittelen aihetta. Työtä ja sen tekemistä onkin ohjannut ennen kaikkea oma mielenkiinto itseään askarruttaviin asioihin ja ehkä vasta toissijaisesti itse opinnäytetyön tekeminen. Jotta työ olisi ollut suoraviivaisempi, nopeampi ja helpompi toteuttaa, niin jo alkuvaiheessa olisi aiheen käsittelytapa pitänyt määritellä tarkemmin. Toisaalta lopputulos ei olisi nykyisenlainen, ja uskoakseni se olisi informaatioarvoltaan köyhempi.

7.3 Kiitokset

Haluan esittää suuret, vilpittömät kiitokseni ensisijaisesti haastatetuille henkilöille vaivan näöstä ja ajan uhraamisesta. Kiitos myös tarkastukseen ja ohjaukseen osallistuneille henkilöille.

LÄHTEET

ABB-Marine. 2008. ABB-Finland. Hampuri. Haastattelu 24.9.2008. Haastattelijana Teemu Malinen. Muistiinpanot haastattelijan hallussa.

ABB Marine. Akashia and Hamanasu. Viitattu 14.4.2011.
[http://www05.abb.com/global/scot/scot293.nsf/veritydisplay/c1256cc400313660c1256fe80023bb45/\\$file/deal%20out%20shinnihonkai.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot293.nsf/veritydisplay/c1256cc400313660c1256fe80023bb45/$file/deal%20out%20shinnihonkai.pdf)

Anderson, L. Hackman, T. 2005. Skipping constraints. ABB Oyj. Viitattu 12.4.2011.
<http://www02.abb.com/global/gad/gad02077.nsf/lupLongContent/393F8265734BE1F2C12571D800312431>

Bruun-Riigels, N. 2011. Merikapteeni, Finnstaship. JM Kontio. Haastattelu 27.3.2011. Haastattelijana Teemu Malinen. Muistiinpanot haastattelijan hallussa.

Eidesvik Offshore ASA:n www-sivut 2011. Viitattu 16.4.2011.
<http://www.eidesvik.no>

Encyclopedia of Ship Technology. 2008. Wärtsilä. 116-117. Viitattu 17.4.2011.
<http://www.cibadesign.com/pliki/wartsila.pdf>

Energopac 2010. Wärtsilä. Viitattu 5.10.2011
<http://www.wartsila.com/en/rudders/wartsila-rudders/energopac>

Hakala, M. 2010. Merikapteeni, Royal Caribbean International. MS Allure of the Seas. Haastattelu 27.11.2010. Haastattelijana Teemu Malinen. Muistiinpanot haastattelijan hallussa.

Kulmala, M. 2011. Huoltoinsinööri, Rolls-Royce. Rauma. Haastattelu 2.4.2011. Haastattelijana Teemu Malinen. Muistiinpanot haastattelijan hallussa.

Kulovaara, H. RCI. Viitattu 6.9.2011
<http://www.abb.hu/cawp/seitp326/9312f5527ffa9c7cc12577c2003d1b4a.aspx>

Maritime Executive www-sivut. Viitattu 12.09 2011 <http://www.maritime-executive.com/article/new-generation-azipod-builds-experience>

Meyer Werft. 2008. Papenburg. Haastattelu 24.9.2008. Haastattelijana Teemu Malinen. Muistiinpanot haastattelijan hallussa.

Rakkola, A. 2011 Vanhempi laivanrakennus insinööri, STX-Finland. Turku. Haastattelu 30.5.2011. Haastattelijana Teemu Malinen. Muistiinpanot haastattelijan hallussa.

Rolls-Roycen www-sivut 2011. Viitattu 20.8.2011 http://www.rolls-royce.com/marine/products/propulsors/azimuth_thrusters/

Schottelin www-sivut 2011. Viitattu 15.4.2011 <http://www.schottel.de/marine-propulsion/>

Sippola, J. Osastonjohtaja, ABB Propulsion units. Helsinki. Haastattelu 7.6.2011. Haastattelijana Teemu Malinen. Muistiinpanot haastattelijan hallussa.

Snellman, J. Vasama, J. & Huttunen, A. 2008. Projektisuunnittelijoita, STX-Finland. Rauma. Haastattelu 24.9.2008. Haastattelijana Teemu Malinen. Muistiinpanot haastattelijan hallussa.

Snellman, J & Huttunen, A. 2010. Projektisuunnittelijoita, STX-Finland. Rauma. Haastattelu 17.11.2011. Haastattelijana Teemu Malinen. Muistiinpanot haastattelijan hallussa.

Sunell, H. 2008. Merikapteeni, Finnlines Oyj. MS Finnstar. Haastattelu 27.11.2008. Haastattelijana Teemu Malinen. Muistiinpanot haastattelijan hallussa.

Steerprop www-sivut 2011. Viitattu 20.8.2011 www.steerprop.fi

Turtiainen, M. Green shipping. ABB Drives. Viitattu 16.4.2011. <http://www02.abb.com/global/gad/gad02077.nsf/lupLongContent/175DDB7237420FE4C125706900433B36>

U.S. Department of Transportation. 2003. Memorandum. Trip report to Northern Europe to National Science Foundation project. Viitattu 05.04.2011. http://www.unols.org/committees/fic/smr/PRV/docs/TS1_Trip%20Report_0303.pdf

Vento, A. 2008. Tekninen tarkastaja, Finnlines Oyj. Helsinki. Haastattelu 2.12.2008. Haastattelijana Teemu Malinen. Muistiinpanot haastattelijan hallussa.

Vainio, P. 2007. Kone-elimet. Laivanrakennuksen perusteet - oppitunnit Satakunnan Ammattikorkeakoulun Rauman merenkulun yksikössä.

Wärtsilä Oyj:n www-sivut 2011. Viitattu 20.9.2011 <http://www.wartsila.com/en/Home>

Ämmälä, P. CRP Azipod for Ulltra Large Container Ships – An Advanced Cost Effective Solution. ABB Industry OY, Marine Group. Viitattu 15.4.2011.
[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)

Mekaaninen potkurilaite; avopotkuri, työntävä, kiinteäsiipinen



Kuva: Steerprop

Mekaaninen potkurilaite; avopotkuri, työntävä, kiinteäsiipinen, korkea jääluokka



Kuva: Steerprop

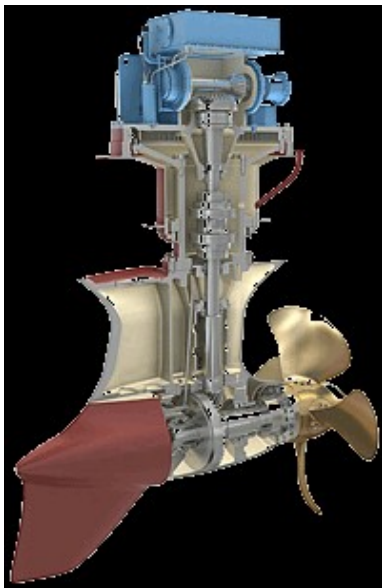
Mekaaninen potkurilaite; suulakepotkuri, työntävä, kiinteäsiipinen



Kuva: Steerprop

LIITE 3

Mekaaninen potkurilaite (RollsRoyce, Azipull); avopotkuri, vetävä, kiinteäsiipinen



Kuva: Rolls-Royce

Mekaaninen potkurilaite; avopotkuri, vastakkain pyörivä (CRP), kiinteäsiipinen



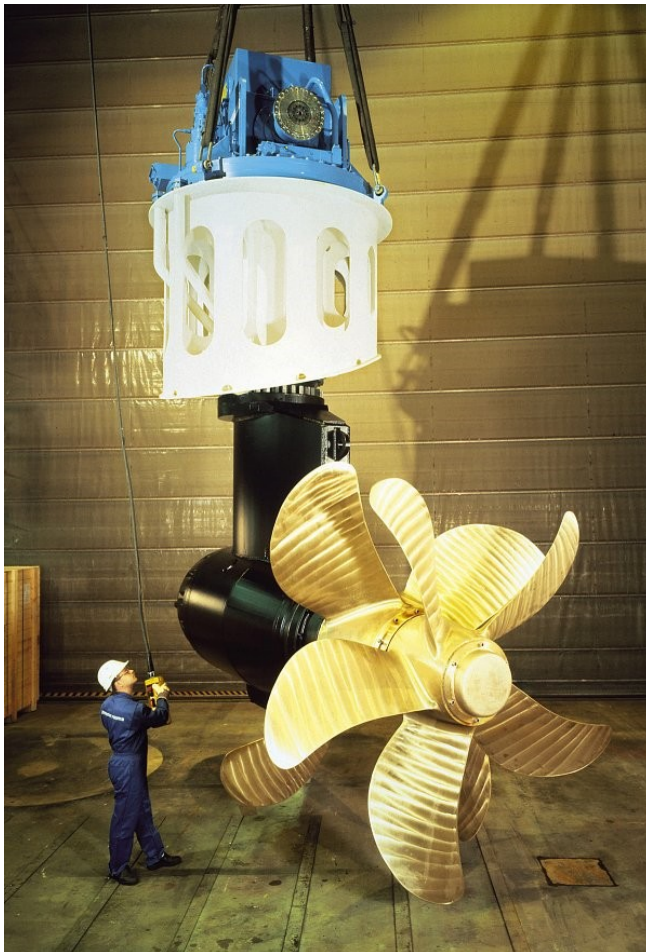
Kuva: Steerprop

Mekaaninen potkurilaite (Steerprop, ECO-sarja); avopotkuri, vastakkain pyörivä (CRP), kiinteäsiipinen, korkea teho- ja nopeusluokka



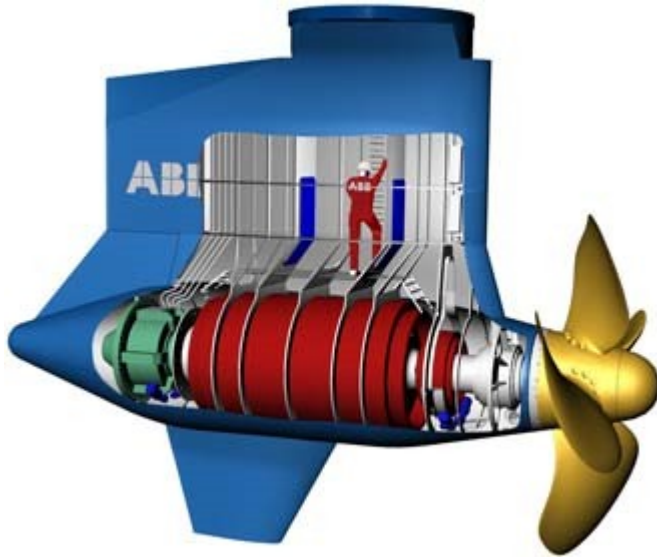
Kuva: Steerprop

Mekaaninen potkurilaite (RollsRoyce, Contaz); avopotkuri, vastakkain pyörivä (CRP), kiinteäsiipinen



Kuva: Rolls-Royce

Sähköinen potkurilaite(Azipod); avopotkuri, vetävä, kiinteäsiipinen



Kuva: ABB