

**MAANPUOLUSTUSKORKEAKOULU**

**YMPÄRISTÖYSTÄVÄLLISEN TEKNIIKAN MAHDOLLISUUDET RAJAVARTIO-  
LAITOKSEN ALUSHANKINNOISSA**

Tutkielma

Kapteeniluutnantti  
Juha-Pekka Laitala

Esiupseerikurssi 62  
Rajavartiolinja

Huhtikuu 2010

## MAANPUOLUSTUSKORKEAKOULU

Kurssi	Linja
Esiupseerikurssi 62	Rajavartiolinja
Tekijä	
Kapteeniluutnantti Juha-Pekka Laitala	
Tutkielman nimi	
<b>YMPÄRISTÖYSTÄVÄLLISEN TEKNIIKAN MAHDOLLISUUDET RAJAVARTIOLAITOKSEN ALUSHANKINNOISSA</b>	
Oppiaine, johon työ liittyy	Säilytyspaikka
Sotatekniikka	Kurssikirjasto (MPKK:n kirjasto)
Aika Huhtikuu 2010	Tekstisivuja 27 Liitesivuja
<b>TIIVISTELMÄ</b>	
<p>2000-luvun yhteiskunnan yhtenä suurimmista huomiota ja mediatilaa saaneista kysymyksistä on ollut huoli ympäristön tilan kehittymisestä ja tarve vaikuttaa siihen. Lähes päivittäin saamme lukea tai kuulla valtakunnan ykkösmedioista, miten ilmasto ja luonto ovat pilaantumassa kiihtyvällä nopeudella ja että nyt on viimeiset hetket käsillä muuttaa kehityksen suunta. Kaupallisten yritysten yhdeksi oman julkisuuskuvaan kohentamisen välineeksi on muodostunut ympäristöarvojen huomioiminen ja ympäristökuorman minimoiminen. Median luomien uhkakuvien, vallitsevan käsityksen ja kansalaisten mielikuvien takia ovat kaupalliset varustamot muuttaneet omia, kaikkien nykysäädösten mukaisia, käytäntöjään ympäristöystävällisimmiksi tukeakseen kilpailullista asemaansa. Huolimatta siitä, että viranomaisista mm. Rajavartiolaitos on vapautettu noudattamasta monia ympäristökuormituksen minimoimiseen pyrkiviä säädöksiä, on se valvontaviranomaisen roolissa ollut ”pakotettu” seuraamaan muutosta aluskalustoaan ylläpitäessään. Tutkimuksen keskeisenä ajatuksena on se, että viranomaisaseman takia on Rajavartiolaitoksen aluskalustoaan kehittäessään otettava korostetusti ja ennakkoluulottomasti huomioon ympäristöystävällisten tekniikoiden käyttäminen, edelläkävijän ja suunnannäyttäjän roolin omaksuminen sekä toimintojen kehittäminen. Tämä tukee Rajavartiolaitoksen julkisuuskuvaan, sen arvojen mukaisesti, luotettavana, ammattitaitoisena ja yhteistyökykyisenä viranomaisena sekä vastuullisena ympäristönsuojelun osasuorittajana ja ympäristörिकosten tutkijana.</p> <p>Tutkimuksessa selvitetään kirjallisuusanalyysin keinoin Rajavartiolaitoksen mahdollisuuksia käyttää ympäristöystävällisiä tekniikoita vartiolaivoillaan ylläpitäen samalla siltä edellytetyn suorituskyvyn. Samalla työssä havainnollistetaan, millainen ero on perinteisesti ja ympäristötietoisesti valituilla tekniikoilla. Vai onko eroa nykyisellään olemassa laisinkaan?</p>	
<b>AVAINSANAT</b>	
Rajavartiolaitos, ympäristöarvot, vartiolaiva, tekniikka	

# YMPÄRISTÖYSTÄVÄLLISEN TEKNIIKAN MAHDOLLISUUDET RAJAVARTIO- LAITOKSEN ALUSHANKINNOISSA

## SISÄLLYSLUETTELO

<b>1</b>	<b>JOHDANTO .....</b>	<b>1</b>
1.1	TUTKIMUSKYSYMYKSET JA RAJAUKSET .....	1
1.2	RAJAVARTIOLAITOKSEN ALUSTEN KÄYTTÖ .....	2
<b>2</b>	<b>YMPÄRISTÖARVOJEN VAIKUTUS ORGANISAATION JULKISUUSKUVAAN.....</b>	<b>4</b>
2.1	YLEISTÄ .....	4
2.2	YRITYKSEN YMPÄRISTÖARVOT JA HENKILÖSTÖN MERKITYS .....	5
2.3	YMPÄRISTÖARVOT JA MEDIA.....	5
2.4	YHTEENVETO .....	6
<b>3</b>	<b>RAJAVARTIOLAITOKSEN ALUSKALUSTON NYKYTILA .....</b>	<b>7</b>
3.1	ALUSLUOKAT .....	7
3.1.1	VARTIOLAIVA MERIKARHU .....	7
3.1.2	TELKKÄ-LUOKAN VARTIOLAIVAT .....	7
3.1.3	PERUSKORJATUT TURSAS-LUOKAN VARTIOLAIVAT .....	8
3.2	HUOMIOITA VARTIOLAIVOJEN TEKNISISTÄ RATKAISUISTA .....	9
<b>4</b>	<b>TEKNISTEN RATKAISUJEN VAIKUTUS YMPÄRISTÖKUORMITUKSEEN .....</b>	<b>10</b>
4.1	YLEISTÄ .....	10
4.2	RUNKO .....	10
4.3	PROPULSIOJÄRJESTELMÄT.....	13
4.3.1	MEKAANINEN PROPULSIO .....	14
4.3.2	SÄHKÖINEN PROPULSIO .....	15
4.4	PROPULSIOVOIMAN TUOTTAMINEN - MOOTTORIT JA POLTTOAINEET .....	17
4.4.1	PROPULSIOVOIMAN TUOTTAMINEN DIESEL-MOOTTORILLA .....	17
4.4.2	PROPULSIOVOIMAN TUOTTAMINEN DUAL-FUEL-MOOTTORILLA .....	19
4.4.3	ALUKSISSA KÄYTETTÄVÄT POLTTOAINEET .....	20
4.5	ITÄMERELLÄ LIIKENNÖIVÄÄ ALUKSIA KOSKEVIA PÄÄSTÖMÄÄRÄYKSIÄ .....	21
4.6	TEKNISTEN RATKAISUJEN VERTAILUA .....	22
<b>5</b>	<b>JOHTOPÄÄTÖKSET .....</b>	<b>25</b>

## LÄHTEET

# **YMPÄRISTÖYSTÄVÄLLISEN TEKNIIKAN MAHDOLLISUUDET RAJAVARTIO- LAITOKSEN ALUSHANKINNOISSA**

## **1 JOHDANTO**

Palvellessani ennen esiuupseerikurssia Suomenlahden merivartiostossa kahdella eri vartiolaivalla yhteensä noin kuusi vuotta seurasin julkisessa mediassa käytyä ja edelleen käytävää keskustelua ympäristön tilasta, sen muutoksesta ja keinoista sekä tarpeesta vaikuttaa muutokseen. Tuona aikana pohdin useasti problematiikkaa liittyen viranomaisen, eli tässä tapauksessa Rajavartiolaitoksen, asemaan sen suorittaessa valvontatehtävää ja liikkeessa asiakkaiden keskuudessa saaristossa. Millaisen käsityksen käytössä oleva kalusto sen suorituskyvystä ja organisaation kulttuurista antaa? Saako asiakas laitoksen arvoista oikean kuvan, jos viranomaisen kulkuvälineen moottorit jättävät jälkeensä sankan savupilven?

Esiupseerikurssin tutkielman aiheeksi valitsin ympäristöystävällisen tekniikan mahdollisuudet Rajavartiolaitoksen alushankinnoissa, koska mielestäni viranomainen, joka valvoo merellisen ympäristön tilaa ja käyttää rankaisovaltaa sen pilaamiseen syyllistyneitä tahoja kohtaan, on velvoitettu ottamaan omassa toiminnassaan korostetusti huomioon ympäristön hyvinvoinnin. Tämä ajatusmalli on osin ristiriidassa sen valtion hankintojen suhteen vallalla olevan käytännön kanssa, jonka mukaan vain halvin vaihtoehto voi olla kyllin hyvä. Lisäksi monesti vaikuttaa siltä, että hankintavaiheessa tehdyt oikomis- ja säästöt aiheuttavat lopulta todellisia kuluja merkittävästi enemmän, kun jälkikäteen joudutaan korjailemaan puutteellista hankintaa.

### **1.1 Tutkimuskysymykset ja rajaukset**

Tutkimustyön lähtökohtana ovat seuraavat tutkimuskysymykset ja -ongelmat:

- 1) Millainen vaikutus erilaisilla teknisillä ratkaisuilla on aluksen aiheuttamaan ympäristökuormitukseen?
- 2) Mitä seurannaisvaikutuksia ympäristötietoiset valinnat aiheuttavat?

- 3) Voidaanko onnistuneilla ympäristötietoisilla valinnoilla tukea organisaation julkisuuskuva?

Työssä käytettävä tutkimusmenetelmä on kirjallisuusselvitys ja sen pohjalta tehtävä teknologiavertailu. Tarkoituksena on perehtyä ja käsitellä melko yleisellä tasolla erilaisten alusteknisten ratkaisuiden vaikutusta aluksen aiheuttamaan ympäristökuormitukseen suuressa mittakaavassa. Konkreettisin keino on parantaa aluksen polttoainetaloutta. Tähän liittyvät osakokonaisuudet voidaan karkeasti jakaa kolmeen isompaan kokonaisuuteen, joita ovat aluksen runko, propulsiolaitteet ja koneistojärjestelmä.

Työssä käsiteltäviä ympäristökuormitukseen vaikuttavia alusteknisiä ratkaisuja ovat:

- vedenalaisen rungon muoto
- diesel-mekaaninen propulsio
- diesel-sähköinen pod-propulsio
- dual-fuel (LNG-Diesel) -sähköinen pod-propulsio
- edellisten mahdolliset oheisvaikutukset aluksen järjestelmiin.

Suppean aihealueen tarkastelun ja tutkielman rajausten perusteena on esiapseerikurssin työlle asetettu, melko rajallinen sivumäärä eli 20-40 tekstisivua. Toisaalta teknisten ratkaisujen kenttä muodostuu laaja-alaiseksi, jos lähdetään tarkastelemaan jokaisen alukseen asennettavan osajärjestelmän ja halutun ominaisuuden vaikutuksia muodostuvaan kokonaisuuteen, jonka lopullinen ympäristökuorma riippuu kuitenkin hyvin paljon myös varsinaisen loppukäyttäjän tekemistä toimista ja omaksumista toimintamalleista.

Aluksella tarkoitetaan tässä työssä Rajavartiolaitoksen käytössä olevia vartiolaivoja.

## **1.2 Rajavartiolaitoksen alusten käyttö**

Suomen lainsäädännön perusteella Rajavartiolaitoksen alusten on sovelluttava käytettäväksi joko suoraan tai välillisesti ainakin seuraaviin tehtäviin:

- rajaturvallisuuden ylläpitämiseen yhteistyössä muiden viranomaisten kanssa
- erikseen säädettyjen valvontatehtävien suorittamiseen sekä toimenpiteisiin rikosten ennalta estämiseksi, selvittämiseksi ja syytteeseen saattamiseksi yhteistyössä muiden viranomaisten kanssa
- poliisi- ja tullitehtäviin

- etsintä- ja pelastustehtäviin
- sotilaallisen maanpuolustuksen tehtäviin osallistumiseen.[22]

Lakisääteisten tehtävien lisäksi rajavartiolaitos osallistuu keskinäisten yhteistyösopimusten ja valtiohallinnon toiminnan tuloksellisuuden tehostamisen perusteella laaja-alaisesti myös muiden hallinnonalojen tehtävien suorittamiseen. Näin ollen alusten on sovelluttava osaltaan myös niiden asettamiin vaatimuksiin.[49]

Alusten operatiivisia tehtäviä pohtineen työryhmän raportin mukaan niitä käytetään rajavalvontaan, meripelastukseen, ympäristön- ja luonnonvarojen valvontaan, öljyntorjuntaan avomerellä, merentutkimukseen, kansainvälisiin operaatioihin sekä viranomaisyhteistyöhön. Toiminnan kannalta tarvittavia ominaisuuksia ovat muun muassa:

- kyky toimia itsenäisesti pitkäaikaisesti ulkomerellä ja saaristossa kaikissa itämeren sää- ja näkyväsyyolosuhteissa ympärivuotisesti, suurella toimintasäteellä
- erinomainen merikelpoisuus, hidasajo- ja manöveerausominaisuus sekä paikallaanpysymiskyky
- kyky itsenäiseen avomeriöljyntorjuntaan, myös jääolosuhteissa
- kyky suorittaa erilaisia pelastusoperaatioita vaikeissa olosuhteissa, koko Suomen merialueella ja saariston syvyydessä
- riittävä hätähinauskyky suurtenkin onnettomuusalusten karille ajautumisen ehkäisemiseksi kaikissa olosuhteissa
- kyky toimia johtoaluksena rajavartio-, pelastus- ja virka-apuoperaatioissa
- kyky vedenalaiseen etsintään, paikantamiseen ja pelastustoimintaan, sekä rikos- ja onnettomuuspaikkatutkintaan
- muiden viranomaisyhteistyössä tarvittavien toimintojen mahdollistaminen.[49]

Tutkimustyön kannalta keskeisiksi edellä mainituista ominaisuuksista nousevat hyvä merikelpoisuus, hyvät paikallaanpysymis-, manöveeraus- ja hidasajo-ominaisuudet, kyky pitkäkestoiseen toimintaan hyvinkin vaihtelevalla nopeusalueella, riittävä hinauskyky sekä operointikyky kaikissa Itämeren olosuhteissa.

## **2 YMPÄRISTÖARVOJEN VAIKUTUS ORGANISAATION JULKISUUSKUNTAAN**

### **2.1 Yleistä**

Termillä ympäristö on ymmärretty perinteisen määritelmän mukaan jonkin määrätyn henkilön ympärillä olevien olioiden ja ilmiöiden muodostamaa kokonaisuutta. Nykyisin ympäristön ajatellaan olevan koko inhimillisen olemassaolon perusta, jota uhkaa ihmisen toiminnan seurauksena tuhoutuminen. Muutoksen ympäristötermin tulkinnassa saivat aikaan 1960- ja 1970-luvuilla yhteiskunnallisen keskustelun kohteeksi nousseet ympäristöongelmat.[4, 38]

Toisen maailmansodan jälkeen seuranneen voimakkaan teollisen kasvun ja kylmän sodan myötä kiihtyneeseen asevarusteluun liittyneiden ydinkokeiden aiheuttamien ympäristövaikutusten havaittiin vaikuttavan laaja-alaisesti. Vaikka ihmisen toiminnalla oli havaittu jo teollistumisen yleistyessä 1800-luvulla ja Suomessakin 1900-luvun alussa olevan ympäristövaikutuksia, vasta nyt havahduttiin siihen, että kyseessä ei ollut vain paikallinen ongelma, vaan ympäristövaikutukset olivat maailmanlaajuisia. Yleisessä keskustelussa ja mediassa alettiin kiinnittää huomiota ympäristökysymyksiin ja tilanteen korjaamiseen.[5, 13, 38]

Alkuvaiheessa yleinen paine kohdistettiin teollisuuden suuntaan, sillä monet ympäristöongelmat voitiin yhdistää suoraan teolliseen toimintaan. Teollisuuden tehokkuuden ja ympäristöasioiden huomioimisen välillä koettiin olevan ristiriita, sillä ympäristöarvojen huomioimisen koettiin vaikuttavan negatiivisesti taloudelliseen kannattavuuteen. Luontoa pidettiin ehtymättömänä raaka-ainelähteenä, jolla yritystoiminnan kannalta oli vain välinearvo.[38, 42]

1980-luvun puolivälissä yritysmaailmassa oli päästy yli vastahakoisuuden vaiheesta, ja ympäristöasia alettiin nähdä tulevaisuuden mahdollisuutena. Sen avulla voitaisiin luoda positiivista yrityskuvaa ja sitä kautta parantaa oman yrityksen kilpailukykyä muihin verrattuna. Oma vaikutuksensa tähän kehitykseen on ollut myös 1990-luvulla kiristyneellä ympäristölainsäädännöllä.[13, 38, 45]

Siirryttäessä uudelle vuosituhatluvulle olivat ympäristöasiat vakiinnuttaneet asemansa osana yritysmaailman yhteiskunnallista vastuuta. Ympäristöjohtamiseen perehtyneiden tutkijoiden kehittelemien mallien, teorioiden ja toimintatapojen avulla ympäristöasiat on pyritty sovitta-

maan osaksi yritystoimintaa. Kriittisenä tekijänä on kuitenkin tullut esille, onko kyseessä todellinen ympäristöasioista huolehtiminen vai yleisestä paineesta johtuva pinnallinen tai kosmeettinen näennäishuolehtiminen ympäristöarvoista.[38, 45]

## **2.2 Yrityksen ympäristöarvot ja henkilöstön merkitys**

Yritysten toiminnan erääksi huomiota herättäneeksi vaikuttamisen tai vakuuttamisen välineeksi on muotoutunut erilaisten organisaatiolle tärkeiden arvojen korostaminen. Yhtenä arvona mainitaan usein joku ympäristöasioihin liittyvä arvo, jonka perusteella organisaatiolle on saatettu jopa luoda oma strategia tai ohjelma.[13, 19, 30, 38]

Tällaisen ympäristöohjelman avulla organisaatio pyrkii suunnittelemaan ja kehittämään omaa toimintaansa vastaamaan yhteiskunnan ja yleisen mielipiteen asettamia vaatimuksia. Ohjelmien ongelmaksi on koettu niiden voimakas riippuvaisuussuhde vallitsevasta asenneilmastosta ja organisaation johdossa tai ympäristöasioista vastaavassa tehtävässä kulloinkin olevan henkilön omasta suhtautumisesta ja sitoutumisesta ympäristöasioihin.[13, 19]

Riippumatta yrityksen tai organisaation erilaisista ympäristösuunnitelmista ja käyttöönsä hankkimasta ympäristöystävällisestä teknologiasta, varsinainen ympäristökuormitukseen vaikuttamisen taso on organisaation suoritusportaassa vaikuttava henkilöstö. Se on myös tärkein taho, joka on perehdytettävä ja koulutettava ympäristöasioiden huomioimiseen. Vaikuttaakseen tarkoitetulla tavalla on organisaation ympäristöarvojen ja -ohjelman mukaisen ajattelutavan ulotuttava läpi koko organisaation rakenteen, ja jokaisen yksilön on sisäistettävä oma vaikuttamisen mahdollisuutensa osana suurempaa kokonaisuutta.[19, 38, 41]

## **2.3 Ympäristöarvot ja media**

Ympäristöarvoihin liittyvä julkisuus on koettu organisaatioissa melko kaksijakoisesti. Yhtäältä toiminnalla on haluttu tukea omaa asemaa ja kilpailuetua muihin verrattuna. Toisaalta ympäristöarvojen korostamista on pyritty välttelymään. Syynä tähän on ollut pelko siitä, että asiaan tartutaan julkisessa keskustelussa negatiiviseen sävyyn, ja organisaatiota syytetään aiemmista laiminlyönneistä ja välinpitämättömyydestä. Tämä siitäkin huolimatta, että yritys tai organisaatio on toimintahistoriansa ajan noudattanut vallitsevaa ympäristönormistoa.

Sen sijaan organisaation toimintatapa on mieluummin muutettu ennakoivasti ympäristöarvoja huomioivaan suuntaan. Mikäli julkinen keskustelu on kääntynyt esimerkiksi tiukentuvaan



normistoon, on tyydytty vähättelemään asiaa ja toteamaan kyseisen muutoksen edellyttämien toimien tulleen huomioiduiksi omatoimisesti.[38]

Tutkimusaineiston valossa median suhde ympäristöarvoihin ja yrityksiin tai organisaatioihin on edellä esitetystä poiketen kuitenkin pääsääntöisesti hyvin neutraali. Kriittinen arvostelu kohdistuu yksittäisen yrityksen tai organisaation sijaan toimintakulttuuriin. Tietenkin eri medioiden ja uutisointihetkellä vallitsevan yleisen keskusteluilmapiirin vaikutuksesta julkisuudessa käsiteltävä aihe saattaa olla ajoittain kriittisesti osoitettu tietyn toimijan suuntaan. Julkisudessa esiintyneen uutisoinnin kriittisyyden ja uutisen kohteena olevan toimijan taloudellisten intressien välillä oli myös todettavissa syy-seuraus-suhde. Eli jos median silmissä organisaation koettiin yksiselitteisesti ympäristöpiittaamattomuudella hakevan kilpailuetua muihin verrattuna, oli kritiikki selvemmin kohdistettu koskettamaan juuri sen toimintaa.[19, 38]

## **2.4 Yhteenveto**

Julkisessa mediassa käydään lähes päivittäin ympäristö- tai ilmastonmuutokseen liittyvää keskustelua. Riippumatta vallitsevasta normistosta joutuvat kaupalliset yritykset ja muut organisaatiot olemaan esillä käytävässä keskustelussa. Ympäristöasioihin liittyen on muodostunut vallitsevaksi käytännöksi, itsestäänselvyydeksi, että ne ottavat kaikessa toiminnassaan painokkaasti huomioon toimintansa aiheuttaman ympäristön kuormittamisen.

Vaikka organisaatio voi toimia noudattaen vallitsevaa normistoa, on sen otettava lisäksi huomioon yleisen moraalisen oikeushyvän toteutuminen toiminnassaan. Erityisesti tämän tulisi mielestäni korostua niiden yhteiskunnan eri organisaatioiden toiminnassa, joilla muiden organisaatioiden, yritysten ja kansalaisten toimintaa voidaan suunnata kohti kansainvälisestikin peräänkuulutettua kestävästä kehitystä.

### 3 RAJAVARTIOLAITOKSEN ALUSKALUSTON NYKYTILA

#### 3.1 Alusluokat

Rajavartiolaitoksella on tällä hetkellä (2010) käytössään kuusi vartiolaivaa, jotka edustavat kolmea eri alusluokkaa ja -tyyppiä. Seuraavassa esitellään alukset luokittain alusteknisessä ikäjärjestyksessä.

##### 3.1.1 Vartiolaiva Merikarhu

Vuonna 1994 valmistunut vartiolaiva Merikarhu on suunniteltu käytettäväksi kaikissa Itämeren olosuhteissa ja se kykenee murtamaan noin 50 cm teräsjäätä. Aluksen tekninen toteutus on hyvin perinteinen:

- jäänmurtoon soveltuva teräsrunko
- kahdella päämoottorilla ja yhdellä potkurilla toteutettu diesel-mekaaninen propulsio
- kaksi tunneliasenteista ohjailupotkuria, yksi aluksen molemmissa päissä
- kaksi diesel-generaattoria ja akseligeneraattori sähköntuottoon.

Alus on rakennettu noudattaen rakennushetkellä vallinneita säädöksiä, määräyksiä ja vakiintunutta käytäntöä. Aluksessa ei ole pakokaasujen puhdistusjärjestelmää. Tutkimustyön rajauksen ulkopuolisena ympäristökuormitusta vähentävänä yksityiskohtana mainittakoon alukselle rakennusvaiheessa asennettu ns. mustanveden käsittelyyn tarkoitettu biolaitos ja vuonna 2007 alukseen toteutettu tankkimuutostyö, jonka jälkeen kaikki aluksella tuotettu jätevesi on toimitettu mantereelle jätevedenpuhdistukseen.[53] Tankkimuutostöiden taustalla oli Suomen ja Viron välillä liikennöivän varustamon jätevesikäytäntöön liittynyt uutisointi, jonka seurauksena käsiteltiin myös muiden varustamoiden ja valtion merellisten organisaatioiden toimintakulttuuria.[50] Edellä mainitut järjestelyt on tehty, vaikka määräykset eivät edellytä kyseistä menettelytapaa.[11, 44, 48, 51]

##### 3.1.2 Telkkä-luokan vartiolaivat

Vuosina 1999, 2002 ja 2004 valmistuneet kolme Telkkä-luokan vartiolaivaa on suunniteltu käytettäväksi kaikissa Itämeren olosuhteissa ja kevyissä, alle 15 cm jääolosuhteissa. Alusluokan tekninen toteutus on melko perinteinen, lukuun ottamatta keulaohjauspotkuria:

- teräsrunko
- kahdella päämoottorilla ja potkurilla toteutettu diesel-mekaaninen propulsio
- diesel-mekaaninen, rungosta laskettava, pod-propulsori aluksen keulassa
- kaksi diesel-generaattoria sähköntuottoon.

Alusluokka on rakennettu noudattaen rakennushetkellä vallinneita säädöksiä, määräyksiä ja vakiintunutta käytäntöä. Aluksissa ei ole pakokaasujen puhdistusjärjestelmää, mutta moottorin käynnistyksen ja akseleiden kytkemisen yhteydessä ilmenevien noki- ja hiukkaspäästöjen vähentämiseksi moottoreiden polttoaineensyöttöön on kiinnitetty erityishuomiota. Kuten jo vl Merikarhun kohdalla mainittiin, myös näiden alusten jätevesijärjestelmä on muutettu ympäristöystävälliseksi vuonna 2008.[11, 50, 52, 53]

### **3.1.3 Peruskorjatut Tursas-luokan vartiolaivat**

Alkujaan vuosina 1986 ja 1987 valmistuneet kaksi Tursas-luokan vartiolaivaa otettiin peruskorjattuina uudelleen operatiiviseen käyttöön vuosina 2005 ja 2006. Alukset on suunniteltu käytettäväksi kaikissa Itämeren olosuhteissa ja ne kykenevät murtamaan noin 50 cm teräsjäättä. Aluksen tekninen toteutus on nykyaikainen:

- jäänmurtoon soveltuva teräsrunko
- diesel-sähköinen pod-propulsio, kaksi propulsoria
- tunneliasenteinen keulaohjailupotkuri
- voimalaitoksessa kaksi isompaa ja kaksi pienempää diesel-konetta.

Alukset on rakennettu ja peruskorjattu noudattaen rakennushetkellä vallinneita säädöksiä, määräyksiä ja vakiintunutta käytäntöä. Aluksissa ei ole pakokaasujen puhdistusjärjestelmää. Kuten jo vl Merikarhun kohdalla mainittiin, myös näiden alusten jätevesijärjestelmä on muutettu ympäristöystävälliseksi vuonna 2007. Tässä on nähtävissä hyvin havainnollisesti median aiheuttama reagointi ympäristöarvojen huomioimiseen. Alusten peruskorjaus oli tilattu vuonna 2003 ja valmiit alukset otettiin käyttöön 2006 mennessä. Tuolloin ei jätevesi(ympäristö)asiaan otettu kantaa. Vain vuotta myöhemmin teetettiin aluksiin suuret ja kalliit muutostyöt, jotka olisi voitu sisällyttää jo peruskorjaukseen.[3, 47, 53, 54, 55]

### 3.2 Huomioita vartiolaivojen teknisistä ratkaisuista

Tarkasteltaessa Rajavartiolaitoksen vartiolaivahankkeita voidaan todeta niiden suhteen harjoitetun hyvin konservatiivista linjaa teknisissä ratkaisuissa. Poikkeuksen tekee Telkkä-luokan alusten keulaohjailupotkuri- ja Tursas-luokan propulsio-järjestelmät. Suunnittelun lähtökohtana näissä järjestelmävalinnoissa ei ole ollut ympäristöarvojen huomioiminen, vaan operatiiviset tarpeet.[11, 47, 48, 52]

Telkkä-luokan suunnitteluvaiheessa alusta ajateltiin käytettävän saariston syvyydessä ja ulkopuolella ikään kuin liikkuvana merivartioasemana, joka siirtyy paikasta toiseen nopeasti pääkoneiden avulla ja risteilee sitten keulaohjailupodin liikuttamana käsketyllä toiminta-alueella. Järjestelmän tekninen toteutus on kuitenkin osittain epäonnistunut ja siihen liitetyn dieselmoottorin aiheuttamat resonanssiäänet estävät tehokkaan operoinnin.[11, 50, 52]

Vastaavasti Tursas-luokan peruskorjausta suunniteltaessa koneistovalinta ei perustunut ympäristönäkökulmiin, vaan pääasiallisena tarkoituksena oli öljynkeräys- ja hätähinaustilanteissa taata alukselle erinomaiset hitaan ajon liikehtimisominaisuudet.[3]

Alusten runkoratkaisuiden voidaan niin ikään todeta edustavan hyvinkin perinteistä kompromissiratkaisua aluksen maksiminopeusvaatimuksen, jäissäkulkukyvyn ja merikelpoisuuden suhteen. Mikään ominaisuus ei ole välttämättä erityisen hyvä, mutta ei toisaalta alkuperäiseen käyttöajatukseen suhteutettuna kovin huonokaan. Poikkeuksena on Telkkä-luokan jäissäkulkukyky, joka on manöveerauksen osalta hyvin rajoittunut aluksen perän muodon takia. [3, 11, 47, 48, 50, 52]

## **4      TEKNISTEN RATKAISUJEN VAIKUTUS YMPÄRISTÖKUORMITUKSEEN**

### **4.1    Yleistä**

Alusteknisiä ratkaisuja tehtäessä on otettava huomioon useita erilaisia muuttujia ja osin myös järjestelmien elinkaareen liittyviä tuntemattomia tekijöitä. Kun alukselle on ensin määritetty haluttuja suorituskykyjä ja ominaisuuksia, ryhdytään niiden perusteella kartoittamaan käytössä olevia teknisiä mahdollisuuksia. Tämän suunnittelu- ja kartoitustyön osaksi tulee ottaa yhtenä keskeisenä tekijänä myös tulevan aluksen aiheuttama ympäristökuormitus. Hyvällä ja laaja-alaisella suunnittelulla voidaan vaikuttaa aluksen käyttöiän aikana aiheutuviin kustannuksiin polttoainetaloudessa, huolto- ja modifiointitarpeessa ja suoraan tai välillisesti myös aluksen käytöstä seuranneisiin päästöihin. Seuraavassa perehdytään erilaisten runko- ja koneisto- sekä propulsiovaihtoehtojen vaikutukseen aluksen hydrodynaamisessa ja energiatehokkuudessa.

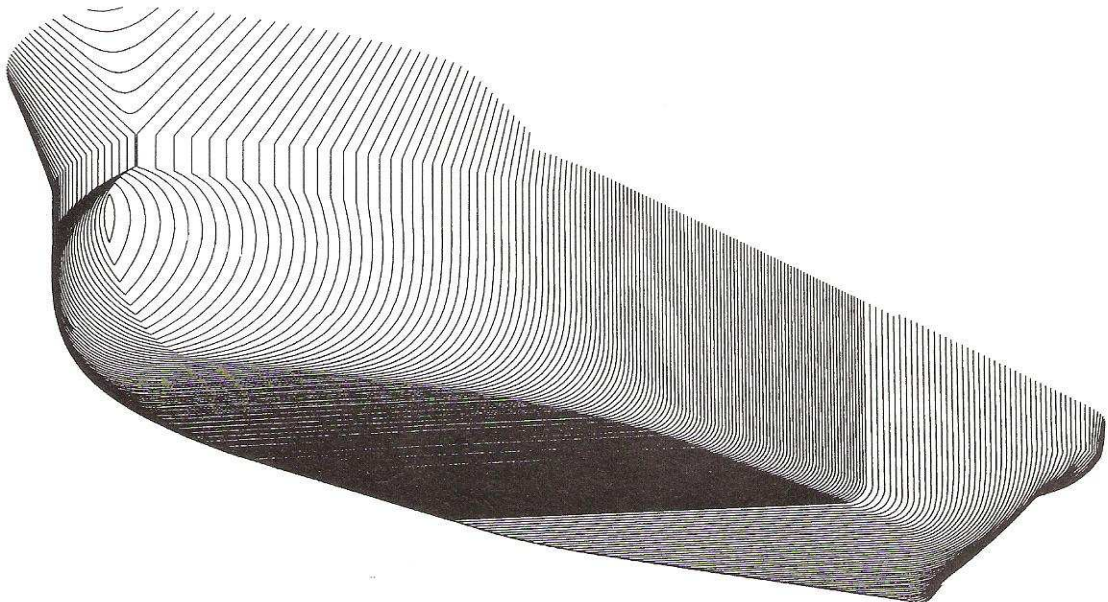
Tämän pääluvun teorettinen tieto perustuu useisiin laivatekniikan eri oppikirjoihin, tutkimuksiin ja Teknillisen korkeakoulun opinnäytetöihin. Yleiseen laivaoppiin liittyviä lähdeviittauksia ei luvussa käytetä. Mikäli tieto perustuu vain yhteen erityislähteeseen tai muuten edellyttää erillistä lähdeviitettä, kyseinen lähde mainitaan.[1, 6, 8, 9, 10, 12, 14, 15, 17, 20, 23, 24, 25, 31, 32, 33, 34, 35, 36]

### **4.2    Runko**

Aluksen runkoratkaisulla on keskeinen merkitys monille aluksen ominaisuuksiin ja käytettävyyteen liittyville tekijöille. Tutkimustyössä oleellinen tarkasteltava ominaisuus on rungon vaikutus aluksen polttoainetalouteen eli käytännössä sen aiheuttamaan kulkuvastukseen. Kulkuvastuksen suuruus riippuu käytetystä runkomuodosta.

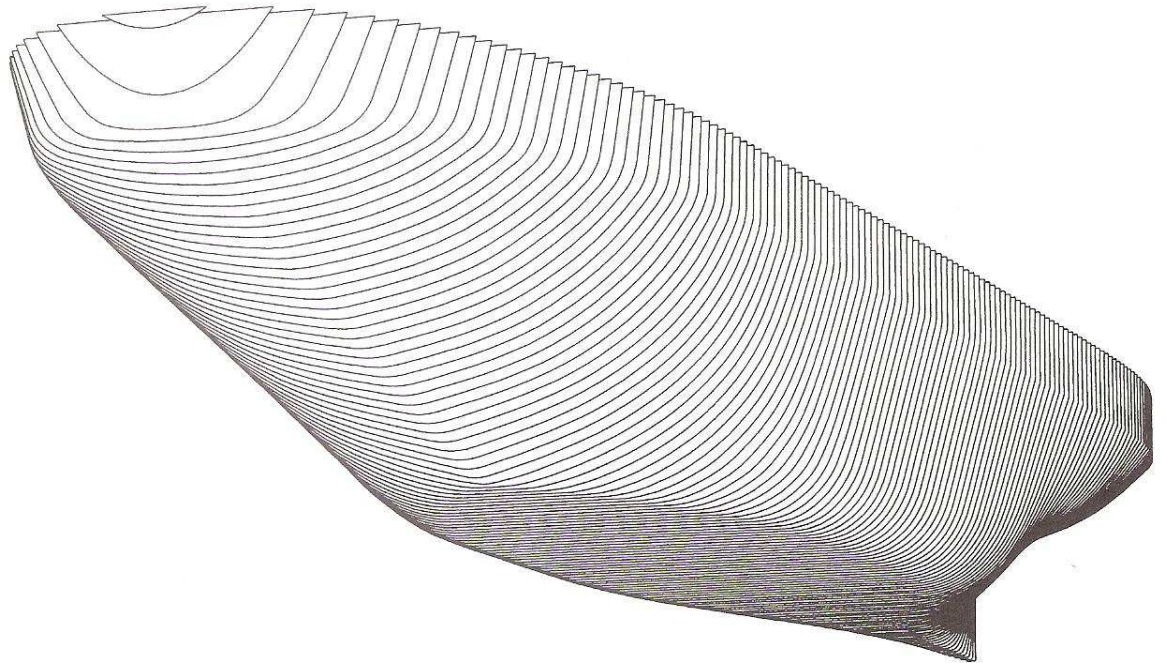
Veden kahdesta meressä esiintyvistä olomuodosta (nestemäinen ja kiinteä) johtuen runkomuoto voidaan optimoida toimimaan hyvin jommassakummassa. Tällöin puhutaan joko avoveteen tai jäänmurtoon optimaalisesti sopivasta rungosta. Koska kuitenkin esimerkiksi Suomen merialueet ovat vain osan vuotta jääpeitteisiä, on edellisten kahden muodon kompromissina monesti käytössä runkomuoto, jonka jäissäkulkuminaisuuksia on jonkin verran paranneltu avovesiominaisuuksien kustannuksella. Tällaista suunnittelua edustavat tällä hetkellä rajavartiolaitoksen käytössä olevat alukset.[11]

Kaupallisessa käytössä olevissa aluksissa, joita käytetään pääasiassa avovesiolosuhteissa, pyritään optimoimaan aluksen käytöstä aiheutuvat kulut saavutettavaan taloudelliseen hyötyyn lastiliikenteessä. Tällöin on edullista pyrkiä suunnittelemaan aluksen vedenalainen runko mahdollisimman pienivastuksiseksi, jolloin mahdollisimman pienillä, keveillä ja polttoaineta-  
loudellisilla koneistoratkaisuilla saadaan siirrettyä mahdollisimman suuri lasti mahdollisimman nopeasti ja taloudellisesti lähtö- ja tulosataman välillä. Avoveteen optimoidussa runko-  
ratkaisussa käytetään yleensä keulapaksunnosta, eli niin sanottua bulbia, kuva 1, jonka on to-  
dettu vähentävän kulkuvastusta 10 – 30 %. Bulbi on lisäksi mahdollista muotoilla ja sijoittaa  
sitien, että se saattaa samalla parantaa myös aluksen jäissäkulkukykyyä, jolloin tällaisella runko-  
rakenteella on mahdollista operoida konetehosta riippuen maksimissaan noin 0,3 - 0,6 metrin  
paksuisessa jäässä.[6, 12, 18, 35] Mikäli aluksen on tarve liikkua paksummassa jäässä, turvau-  
tuu se jäänmurtaajien apuun.



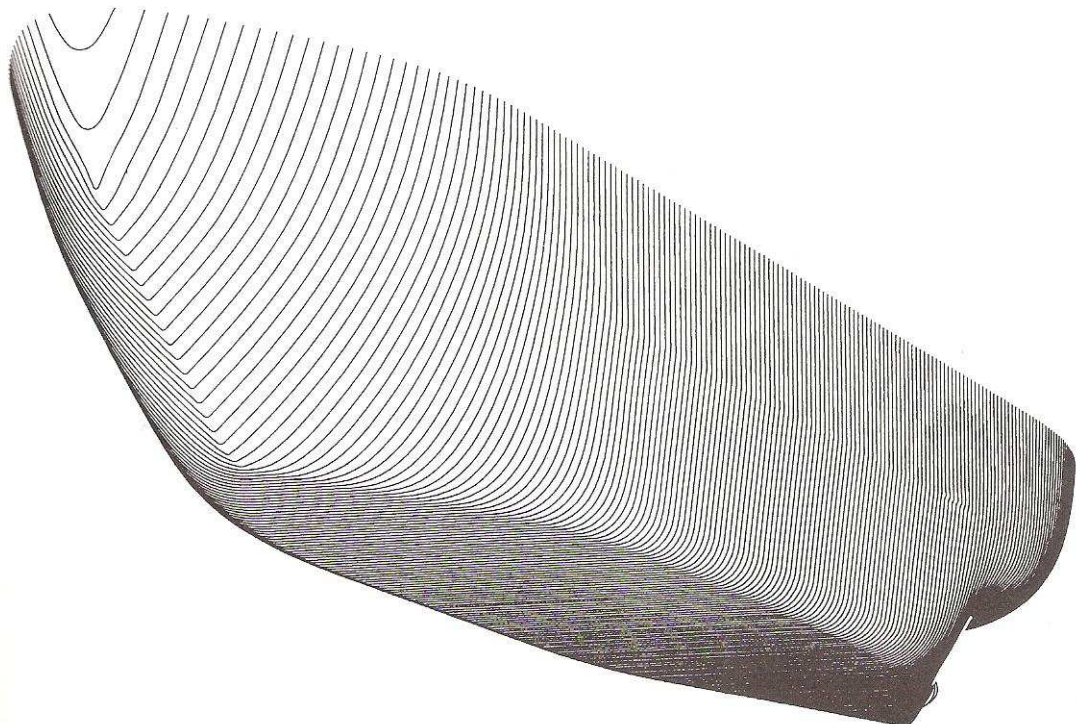
Kuva 1. Avovesiolosuhteisiin optimoitu lastialuksen runko

Liikuttaessa arktisissa olosuhteissa joudutaan aluksen runko optimoimaan jääkentässä ope-  
roimiseen. Koska kiinteän jääkentän murtaminen perustuu jään taivuttamiseen rikki käyttäen  
apuna aluksen painoa ja jään ominaismurtojäykkyyttä, joudutaan aluksen runko muotoilemaan  
melko pyöreälinjaiseksi ja keularankaa taivuttamaan voimakkaasti perää kohti. Ominaista täl-  
laiselle runkomuodolle on virtausvastuksen lisääntyminen merkittävästi ja aluksen liikuttami-  
seen käytettävän konetehotarpeen lisääntyminen. Jäänmurtoon optimoidulla runkomuodolla,  
kuva 2, pystytään operoimaan 1,0 - 2,0 metrin paksuisessa kiintojäessä ja läpäisemään vielä  
näitä huomattavasti paksumpia jäävalleja ja ahtojääpankkeja.[6, 12, 18, 21] Aluksen ominai-  
suuksien ja konetehon ohella jään ja sen päällä olevan lumen rakenteella ja ominaisuuksilla on  
merkittävä vaikutus jääolosuhteissa liikuttaessa.



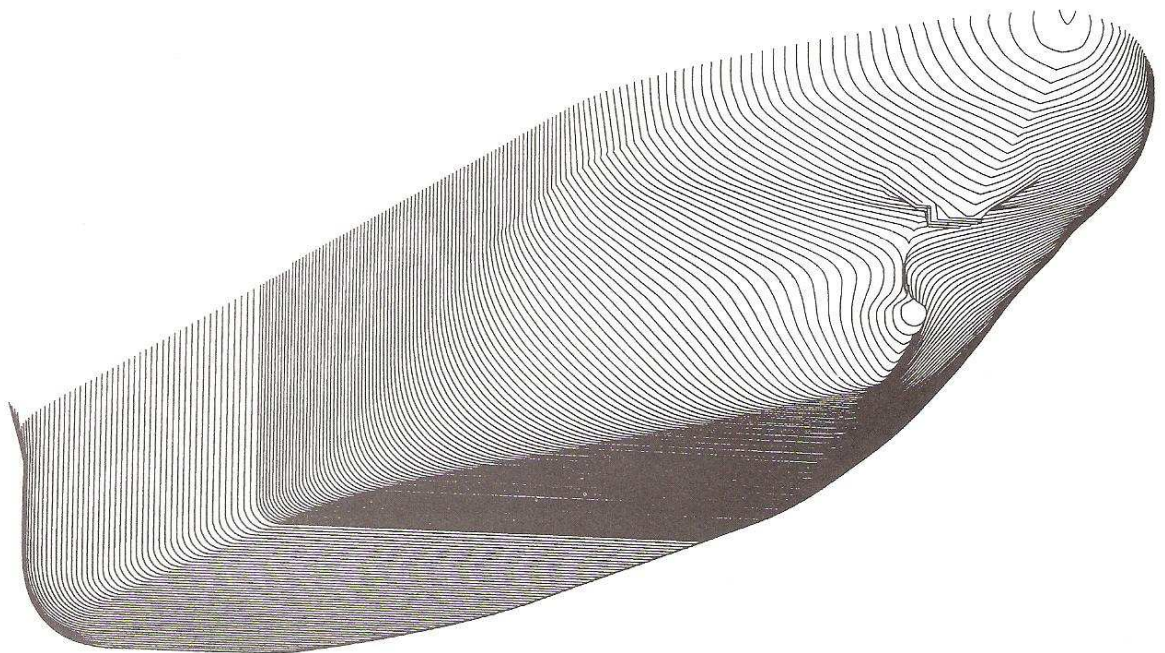
Kuva 2. Jäänmurtoon optimoitu runkumuoto.

Mikäli kaupallisessa käytössä olevasta aluksesta halutaan tehdä itsenäisesti jääolosuhteissa operointikykyinen tai sitä käytetään pääasiassa kevyissä jääolosuhteissa ja jäänmurtajan apuun ei haluta turvautua, voidaan aluksen runkumuotoa parannella jäissä liikkumista silmälläpitäen, kuva 3. Tällöin joudutaan kuitenkin tekemään kompromisseja haluttujen ominaisuuksien suhteen. On hyväksyttävä rungon lastitilan pieneneminen, virtausvastuksen kasvu, siitä seuraava konetehotarpeen lisääntyminen ja polttoainekulutuksen kasvaminen.



Kuva 3. Runkumuoto, jonka jäissäkulkukykyä on paranneltu.

Erityisesti jäänmurtajakäyttöön alun perin suunniteltuja, 360 astetta pystyakselinsa ympäri kääntyviä, niin sanottuja pod-propulsorilaitteita käytettäessä on voitu aluksen virtausvastusta pienentää merkittävästi, koska perinteiseen akselilinjalla toteutettuun propulsioon liittyvien kannakkeiden ja tukien sekä erillisen peräsimen tarve on poistunut. Virtausvastuksen pienentyminen on suuruudeltaan noin 5 - 15 % luokkaa. Mielenkiintoiseksi pod-propulsiolle suunnitellun rungon tekee, että sen peräosan muoto on hyvin lähellä jäänmurtoon suunnitellun aluksen keulan muotoa, kuva 4. Kääntyvien propulsiolaitteiden ansiosta tätä ominaisuutta on hyödynnetty esimerkiksi öljytankkereissa ja öljynporauslauttojen huoltoaluksissa. Tällöin aluksen keulaosa muotoillaan optimaaliseksi avovedessä liikkumista silmälläpitäen ja liikuttaessa jäisessä alusta operoidaan perä edellä. Runkomuotoa kutsutaan nimellä double-acting (DA). Samalla pystytään hyödyntämään potkurivirran huuhteluvaikutus aluksen rungon ja jään välissä, mikä pienentää merkittävästi jäätä aiheutuvaa kitkaa. Käytännössä on havaittu tällaisen tekniikan hyväksikäytöllä pystyttävän operoimaan jopa 2,0 metrisessä jääkentässä ja vieläpä 15 - 20 % pienemmällä teholla kuin perinteisesti suunnitellulla jäänmurtokeulalla varustetulla aluksella.[18, 21]



Kuva 4. Pod-propulsoria käyttävän tankkerin rungon peräosa.

### 4.3 Propulsiojärjestelmät

Tässä työssä käsiteltävät propulsiojärjestelmät ovat mekaaninen ja sähköinen. Alaluviissa esiteltävät tekniset ratkaisut ja järjestelmiä koskevat ominaisuudet perustuvat pääasiassa laiva-tekniikan yleisiin oppikirjoihin.[6, 8, 9, 10, 15, 21, 23, 24, 25, 32, 36, 37, 43]



### 4.3.1 Mekaaninen propulsio

Propulsiossa voimansiirto on perinteisesti tapahtunut koneelta joko suoraan, kytkimen tai kytkimen ja vaihteen kautta akselilinjalle ja edelleen pohjan alla sijaitsevalle propulsorille eli potkurille. Potkuri voi olla nousultaan joko kiinteä tai säädettävä. Kiinteän potkurin etuna on mahdollisuus optimoida se toimimaan mahdollisimman tehokkaasti juuri halutulla nopeusalueella, mutta vastaavasti tämä haittaa sen ominaisuuksia muilla nopeusalueilla. Propulsorin työntövoiman suunnan muuttaminen vaatii propulsorin pysäyttämisen ja sen pyörimissuunnan kääntämisen vastakkaiseksi. Tämä tapahtuu ilman kytkintä toteutetussa voimansiirrosta akseliin yhdistetyn moottorin pyörimissuunta kääntämällä tai kytkimellä varustetussa propulsiolinjassa kytkemällä käyttöön peruutusvaihte. Pyöriessään vastakkaiseen suuntaan kiinteänousuisen potkurin hyötysuhde laskee kuitenkin merkittävästi. Potkurin suurimpana heikkoutena on hidassajo-mahdollisuuden puuttuminen akselia pyörittävän koneen minimikierrosten rajoittaessa nopeudensäätöä.

Kiinteänousuisen potkurin heikkouksia voidaan eliminoida käyttämällä muuttuvanousuisia potkuria, jolloin potkurin tuottaman työntövoiman suuruutta ja suuntaa voidaan muuttaa säätämällä potkurin nousua. Tällaista järjestelmää käyttämällä voidaan aluksen propulsio toisaalta optimoida niin potkurin nousun kuin koneen pyörimisnopeudenkin suhteen toimimaan tehokkaasti laajemmalla nopeusalueella kuin kiinteänousuisen potkurin vaihtoehdossa, mutta toisaalta saavuttaa samalla hyvät hidassajo-ominaisuudet. Mikäli aluksen pääkoneetta operoidaan vakiokierröksillä ja aluksen nopeuden säätäminen suoritetaan vain nousua muuttamalla, voidaan propulsiolinjan yhteyteen liittää niin sanottu akseligeneraattori. Tällöin aluksen liikkuessa voidaan sen sähköjärjestelmien tarvitsema tuotto ottaa suoraan pääkoneelta, jolloin erillisiä sähköntuottoon käytettyjä apukoneita ei tarvitse käyttää. Muuttuvanousuisen potkurin haittapuolena on melko monimutkainen rakenne ja järjestelmän edellyttämän suurihalkaisijaisen potkuriakselin aiheuttama tarve kasvattaa myös itse potkurin kokoa kiinteänousuisista potkuria vastaavan työntövoiman saavuttamiseksi.

Käytettäessä muuttuvanousuisia potkurijärjestelmää ei tarvita kytkimen ja akselin välissä erillistä pyörimissuunnan muuttamisominaisuutta. Tällöin propulsiolinjan parempi hyötysuhde tasoittaa eroa hyötysuhteessa kiinteä- ja muuttuvanousuisen propulsioratkaisun välillä. Koska järjestelmien tehokkuuden välinen ero on vain 1 - 2 % luokkaa kiinteänousuisen vaihtoehdon eduksi, on muuttuvanousuinen potkuri yleisin valinta aluksiin, joita on tarve operoida vaihtelevilla nopeuksilla.

Mekaaninen propulsiojärjestelmä on yleisyytensä takia hyvin tunnettu ja sen tehokkuus on kyetty optimoimaan toimimaan lähes ilman ylimääräistä tehohäviötä, jolloin noin 95 - 98 % tehosta siirtyy koneesta potkurille. Järjestelmän haittapuolena on itse akselilinjan tai linjojen ja niiden tuennasta sekä ohjailuperäsimen tai -peräsimien tarpeesta aiheutuva virtausvastus. Lisäksi potkurin tehoa laskee se, ettei potkuri ole optimaalisessa asennossa aluksen pohjan alla oleviin, sen suuntaisiin virtauksiin nähden, vaan se on potkuriakselin jatkeena kulmassa pohjan suhteen. Potkurin hyötysuhdetta voidaan kasvattaa asentamalla sen ympärille suulake, jolloin sama työntövoima saadaan 10 % pienemmällä potkurikoolla kuin mikä tarvitaan ilman suulaketta olevalle potkurille. Suulake on yleinen hinaajissa, mutta muissa jäissä liikkuvissa aluksissa sitä ei juurikaan käytetä, koska suulake on altis tukkeutumaan jääpalojen kulkeutuksessa aluksen alitse suulakerakenteeseen. Tukkeutuminen ja propulsiovoiman äkillinen katoaminen saattaisivat aiheuttaa vakavia vaaratilanteita.

### 4.3.2 Sähköinen propulsio

Sähköisessä propulsiossa käytetään aluksen moottoreilla sähkögeneraattoreita, joiden tuottama voima syötetään propulsiolinjaan akseliin tai akseleihin yhdistettyjen sähkömoottoreiden kautta. Verrattuna mekaaniseen ratkaisuun, jossa yhtä akselia kohti on yksi tai kaksi konetta ja mahdollisesti useampia akselilinjoja, voidaan sähköisessä propulsiossa käyttää sähköntuottoon joustavaa määrää moottoreita aina kulloisenkin tilanteen mukaan. Toisena merkittävänä etuna sähköisessä propulsioratkaisussa on se, että operoitaessa jääolosuhteissa potkuriin osuvien jäälohkareiden aiheuttamat iskut eivät rasita aluksen varsinaisia koneita, kuten tapahtuu mekaanisessa propulsiossa. Näistä syistä johtuen järjestelmä on yleisesti käytössä erityisesti jäänmurtaajissa, joihin se alun perin on kehitettykin. Vaikka nykyiset generaattorit ja sähkömoottorit toimivat erittäin hyvällä hyötysuhteella on järjestelmän heikkoutena kuitenkin mekaaniseen voimansiirtoon verrattuna merkittävä tehohävikki.

Jäänmurtaajien operointikyvyn parantamiseksi kehitettiin propulsiolaite, jossa aluksen pohjaan kiinnitettyyn, 360 astetta pystyakselinsa ympäri pyörivään yksikköön on yhdistetty sekä potkuri että sille voiman syöttävä sähkömoottori. Tästä järjestelmästä käytetään laitevalmistajasta tai toteutuksesta ja asiayhteydestä riippuen esimerkiksi nimityksiä Azipod, Aquamaster, rotatable thruster, z-drive propulsion tai pod propulsion. Tässä työssä käytetään jatkossa tämän tyyppisestä järjestelmästä yleisnimitystä pod-propulsio.

Järjestelmän eduiksi havaittiin, kuten jo runkomuotoja käsiteltävässä osiossa todettiin, akseli-  
linjojen kannattimiin ja erillisen peräsintarpeen poistumiseen liittyen merkittävä aluksen run-  
gon virtausvastuksen väheneminen sekä erinomaiset aluksen manöverointi- ja paikallaanpito-  
ominaisuudet. Lisäksi manöveroinnissa tarvittavista erillisistä ohjailupotkureista, jotka aiheut-  
tavat noin 10 % virtausvastuksen lisääntymisen, on voitu aluksen perän osalta myös luopua.  
Pod-propulsio-laite voidaan asentaa alukseen optimoiden sen asento pohjan alla kulkevien vir-  
tausten suhteen ja näin kasvattaa sen hyötysuhdetta. Propulsoriin voidaan yhdistää myös ai-  
emmin mainittu suulake, jolloin sen teho kasvaa edelleen, mutta jäissä operoitaessa suulak-  
keen tukkeutumiseen liittyvän ongelman takia sitä ei suositeta jäätä murtavissa aluksissa.

Järjestelmästä saatujen hyvien kokemusten perusteella sen kehittämistä on edelleen jatkettu ja  
propulsioratkaisua on käytetty myös esimerkiksi risteilyaluksissa ja tankkereissa. Pelkästään  
aluksen liikuttamista verrattaessa järjestelmän on havaittu käytännössä olevan kokonaisuutena  
yhtä tehokas kuin perinteinen mekaaninen propulsio, huolimatta sähköisen voimansiirron ai-  
heuttamista häviöistä. Tämän lisäksi järjestelmä mahdollistaa ylivertaiset manöverointiomi-  
naisuudet muihin verrattuna, esimerkiksi aluksen kääntöympyrän säteen on havaittu olevan  
merkittävästi pienempi kuin perinteistä peräsintä käytettäessä. Satamaolosuhteissa toimittaes-  
sa alus voidaan kääntää ympäri tarvittaessa vain sen pituuden vaatimassa tilassa.

Jääolosuhteissa operoinnissa korostuu pod-yksikön käännettävyyden mukanaan tuoma mah-  
dollisuus muuttaa propulsiovoiman suuntaa nopeasti halutulla tavalla pitäen tarvittaessa jat-  
kuvasti käytössä järjestelmän koko teho-resurssi. Operoinnissa pystyy samalla tarvittaessa te-  
hokkaasti hyödyntämään propulsiovirran huuhteluvaikutusta aluksen kyljen ja jäämassan väli-  
sen kitkan pienentämiseksi.

Pod-propulsiojärjestelmästä on sähköisen version ohella myös mekaaninen sovellus, jonka  
etuna on sitä tehokkaampi hyötysuhde. Järjestelmää käytetään esimerkiksi saattohinaajan  
tyyppisissä aluksissa, joita käytetään rajoitetulla alueella ja jotka tarvitsevat nopeasti reagoi-  
van maksimaalisen paaluvetokyvyn yhdistettynä hyvään manöveerauskykyyn.

Pod-propulsiojärjestelmän haikkapuolena on tekniikan vielä suhteellisen lyhyt käyttöhistoria (parikym-  
mentä vuotta), joten sen osalta pitkän aikavälin kokemuksia vasta kartutetaan ja analysoidaan.

## 4.4 Propulsiovoiman tuottaminen - moottorit ja polttoaineet

### 4.4.1 Propulsiovoiman tuottaminen diesel-moottorilla

Alusten liike-energia tuotetaan tällä hetkellä vallitsevan yleisen käytännön mukaan pääasiassa diesel-polttoainetta käyttävien moottoreiden avulla. Käytetty tekniikka on hyvin tunnettua ja toimintavarmaa.

Voimassa olevien ja edelleen tiukentuvien päästönormien viitoittamana on nykyisellä teknisellä tietämyksellä pystytty kehittämään diesel-moottorit hyvin energiatehokkaiksi ja vähäpäästöisiksi. Tällaisia tekniikoita ovat esimerkiksi niin sanottu Miller-ajoitus, pakokaasujen takaisinkierätykset ja imuilman kosteus (vesiruiskutus). Yhteisenä tekijänä näillä moottorin palamisprosessiin vaikuttavilla tekniikoilla on typen oksidipäästöjen ( $\text{NO}_x$ ) alentaminen. Yleisesti tarkasteltuna  $\text{NO}_x$ -päästöt vähenevät, kun palamisprosessin lämpötila- ja painetasoja alennetaan sekä vältetään korkeita lämpötilapiikkejä palotilassa. Rikin oksidipäästöihin ( $\text{SO}_x$ ) ei moottoritekniikoilla voida vaikuttaa, vaan päästöt ovat riippuvaisia polttoaineen rikkipitoisuudesta.[2, 18, 40, 43, 46]

Miller-ajoitus tarkoittaa moottorin imuventtiilien aikaistettua sulkemista, eli imuventtiili sulkeutuu ennen männän alakuoloa. Normaalisti sulkeutuminen tapahtuu hivenen alakuolokohdan jälkeen. Aikaistettu venttiilien sulkeutuminen alentaa sylinterissä tapahtuvan palotapahtuman lämpötilaa, sillä sylinterissä venttiilin sulkeutuessa oleva seos joutuu laajenemaan, jolloin se jäähtyy ja viilentää sylinteriä. Riittävän ilmamäärän saaminen sylinteriin vaatii moottorin ahtopaineen kasvattamista, joka voidaan toteuttaa vain niin sanotulla kaksivaiheahtauksella, eli käyttämällä moottorissa kahta peräkkäin asennettua turboahdinyksikköä. Miller-ajoituksen etuna on samanaikaisesti typen oksidien ja polttoainekulutuksen pieneneminen, jolloin  $\text{NO}_x$ -päästöt vähenevät 40 - 60 % ja polttoainekulutus 2 - 3 %. Yhdistämällä Miller-ajoitus ja kaksoisahtaus pakokaasujen takaisinkierätykseen kyetään täyttämään laivamoottoreille asetetut IMO Tier III vaatimukset, kuva 6. Haittana ovat muun muassa monimutkainen rakenne, painon lisääntyminen noin 60 % (esim. 7,5 t -> 12,0 t), se että tekniikkaa voidaan hyödyntää tehokkaasti vain moottorin optimikuormituksella ja se ettei järjestelmään voida yhdistää katalysaattoria pakokaasujen liian matalan lämpötilan takia.[40]

Imuilman kosteuteuksella (vesiruisikutuksella) alennetaan moottorissa tapahtuvan palamisprosessin lämpötilaa ja lisätään sylinterin täyttöastetta. Tekniikalla on mahdollista alentaa  $\text{NO}_x$ -päästöjä 50 - 70 %. Haittana ovat polttoaineen kulutuksen kasvaminen 2 - 6 % ja moottorin tuottaman lämpöenergian väheneminen, jolloin aluksella tarvittava lämpö voidaan joutua tuottamaan öljypoltinkäytöllä, mikä lisää polttoaineenkulutusta edelleen.[46]

Pakokaasujen takaisinkierrätyksellä tarkoitetaan tekniikkaa, jossa osa viilennetyistä pakokaasuista johdetaan takaisin moottorin palotilaan. Tällä vaikutetaan palotapahtuman aikana sylinterissä syntyviin yhdisteisiin lisäämällä sylinterissä olevien reagoimattomien partikkeleiden määrää. Tekniikalla kyetään vähentämään  $\text{NO}_x$ -päästöjä jopa noin 60 %. Haittana on kuitenkin polttoaineenkulutuksen ja huoltokustannusten lisääntyminen sekä se, että järjestelmä soveltuu huonosti käytettäväksi yhdessä raskaan polttoöljyn kanssa.[2, 40]

Paloprosessista vapautuvia päästöjä voidaan vähentää myös pakokaasujen jälkikäsitteilyllä, kuten SCR-katalysaattoreilla (Selective Catalytic Reduction) ja pakokaasujen merivesipesulla. Käytettävä tekniikka on tunnettua ja riskitöntä, mutta sen käyttö aiheuttaa kustannusten merkittävää lisääntymistä.[2, 40, 46]

SCR-katalysaattorissa, jota yleisimmin käytetään aluksissa typen oksidien vähentämiseksi, pakokaasuja suihkutetaan urea-vesiseoksella, jolloin seoksesta muodostunut ammoniakki pelkistää typen oksidit. Katalysaattorilla voidaan saavuttaa noin 90 - 95 % vähennys  $\text{NO}_x$ -päästöihin, mikä tarkoittaa parhaimmillaan alle 2 g/kWh päästötasoa. Katalysaattori toimii tehokkaimmin käytettäessä vähärikkistä polttoainetta. Katalysaattorin elementtien käyttöikä on noin 3 - 5 vuotta. Katalysaattorin käyttäminen lisää pakokaasujen vastapainetta ja sen seurauksena kasvaa myös polttoaineen kulutus sekä huoltokustannukset. Lisäksi kuluja aiheuttaa tarvittava urea, jota kuluu 7 - 10 % polttoaineen kulutuksesta. Urean ja prosessissa syntyvän ammoniakkin merkittävänä haittapuolena on niiden voimakas syövyttävä ominaisuus, joka vaatii erityisiä järjestelyitä ja suurta annostelutarkkuutta.[2, 40, 46]

Pakokaasujen merivesipesulla voidaan vähentää alusten rikkioksidipäästöjä 85 - 95 %. Merivesipesussa pakokaasut johdetaan kaasunpesulaitteeseen, jossa ne joutuvat kosketuksiin meriveden kanssa. Rikkioksidit muodostavat emäksisen meriveden kanssa sulfaatteja ( $\text{SO}_4$ ). Laitteistosta tuleva vesi puhdistetaan noki- ja muista kiinteistä hiukkasista. Vesi pumpataan takaisin mereen ja hiukkaset kerätään saostustankkeihin, jonka jälkeen ne voidaan käsitellä edelleen.[46]

Diesel-moottorin ominaiskulutus on tyypillisesti noin 170 - 190 g/kWh. Operoitaessa käyttäen tavallista kevyttä polttoöljyä (MDO) tämä tarkoittaa päästöjen suuruudeksi noin 710 ppm tyypen oksideja ( $\text{NO}_x$ ) ja 460 - 515 g/kWh hiilidioksidia ( $\text{CO}_2$ ). Rikin oksidipäästöt ( $\text{SO}_x$ ) ovat riippuvaisia käytetyn polttoaineen rikkipitoisuudesta. Suomessa myytävän kevyen polttoöljyn rikkipitoisuus on yleisesti alle 0,1 %.[9, 10, 40, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62]

Diesel-moottoreilla tuotettu energia voidaan välittää propulsiolaitteistolle mekaanisesti tai sähköisesti tässä työssä aiemmin käsitellyllä tavalla.

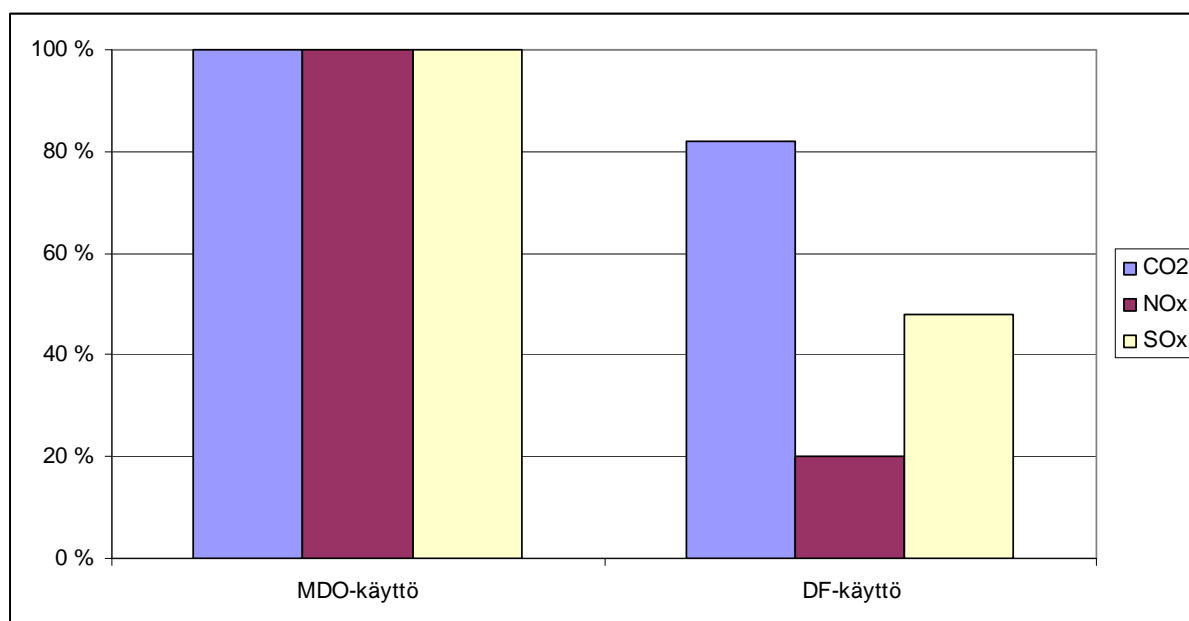
#### 4.4.2 Propulsiovoiman tuottaminen dual-fuel-moottorilla

Nesteytettyä maakaasua (LNG, Liquefied Natural Gas) on käytetty polttoaineena aiemmin vain sitä kuljettavissa tankkereissa, mutta vuodesta 2000 sitä käyttäviä moottoreita on asennettu myös matkustaja-aluksiin. Kaasun käyttäminen polttoaineena on ympäristökuormituksen vähentämisen kannalta kiinnostava vaihtoehto, sillä se palaa puhtaasti ja tuottaa päästöjä vähemmän kuin polttoöljy. Ero raskaan polttoöljyn päästöihin vaihtelee jonkin verran kaasun laadusta riippuen (100 %  $\text{SO}_x$ , 80 - 90 %  $\text{NO}_x$  ja 15 - 30 %  $\text{CO}_2$ ). Kevyellä polttoöljyllä toimiviin moottoreihin verrattaessa arvot ovat lähes vastaavat.[26, 27, 28, 29, 39, 40, 46]

Kaasukäyttöisessä moottorissa tarvitaan kaasun lisäksi paloprosessin käynnistämiseen pieni määrä kevyttä polttoöljyä. Moottori käynnistetään ja ”lämmitetään” käyntilämpöön sekä pysäytetään operoimalla sitä kevyellä polttoöljyllä. Tästä johtuen moottoria voidaan käyttää tarvittaessa myös pelkällä polttoöljyllä, mistä seuraa nimi kaksoispolttoaine- eli dual-fuel-moottori (DF). Kuvassa 5 on verrattu DF-moottorin päästöarvoja molemmilla operointitavoilla. Toimiakseen tehokkaasti on moottorin kuormituksen oltava jatkuvasti optimaalisella tasolla, eli 50 - 80 % moottorin ominaistehosta. Lisäksi kaasukäytöllä operoitaessa olisi edullista pitää moottorin pyörimisnopeus mahdollisimman vakiona. Tämän seurauksena laivasovelluksissa moottoria käytetään generaattorin yhteydessä eli voimalaitoskäytössä. Tällöin tehokkain ja ympäristöystävällisin vaihtoehto on liittää se osaksi sähköistä pod-propulsio järjestelmää.[26, 27, 28, 29, 39, 40, 46]

Diesel-polttoainetta puhtaammin palavan polttoaineen käytön ansiosta moottorin likaantuminen on vähäisempää ja tarvittavien huoltojen välit merkittävästi pidempiä (20 - 40 %), verrat-

tuna tavanomaisiin moottoreihin. Tämä lisää osaltaan DF-moottorin ympäristöystävällisyyttä huomattavasti.[46]



Kuva 5. Dual-fuel-moottorin päästöarvojen vertailu.[26]

#### 4.4.3 Aluksissa käytettävät polttoaineet

Tässä työssä käsitellyissä, propulsio-voiman tuottamiseen käytettävissä moottoreissa on mahdollista käyttää polttoaineena raskasta polttoöljyä (FO, Fuel Oil), kevyttä polttoöljyä (MDO, Marine Diesel Oil) ja nesteytettyä maakaasua (LNG, Liquefied Natural Gas). Näistä polttoaineista Rajavartiolaitos on jo aiemmin rajannut pois raskaan polttoöljyn käyttömahdollisuuden johtuen sen kevyttä polttoöljyä hankalammasta käytettävyydestä (muun muassa erillisen polttoaineenlämmitysjärjestelmän tarpeesta ja lisääntyneestä huoltotarpeesta) sekä osin sen käyttämisen aiheuttamista lisääntyneistä päästöistä. [11] Polttoaineiden ominaisuuksia on vertailtu taulukossa 1.[26, 27, 28, 29, 39, 40, 46]

Ominaisuus / Polttoaine	MDO	LNG
Tiheys (Paino)	0,8 – 0,9 kg/dm <sup>3</sup>	0,425 – 0,48 kg/dm <sup>3</sup>
Lämpöarvo (Energiasisältö)	42,7 MJ/kg	48,1 – 50,0 MJ/kg
Rikkipitoisuus	0,1 (– 1,0) %	0,0 %
Hiilidioksidia poltettaessa	2,7 kg/dm <sup>3</sup>	1,9 kg/dm <sup>3</sup>
Hinta (Vertailulukku)	1,0	0,4 – 0,5

Taulukko 1. Kevyen polttoöljyn ja nesteytetyn maakaasun vertailua.[26, 46]

Kuten edellisestä taulukosta käy ilmi, on maakaasu kevyttä polttoöljyä edullisempaa, puh-  
taampaa, kevyempää ja sen lämpöarvo on suurempi. Haittana on tarve kasvattaa polttoaineen  
säilytyksessä käytettävän tankin tilavuutta, jotta aluksella kyetään kuljettamaan mukana sama  
energiasisältö. Itse polttoaine tarvitsee noin 1,8 kertaisen tankkitilan, jonka lisäksi tankissa  
tarvitaan jonkin verran laajentumisvaraa. Tankista on siksi tehtävä kaikkiaan noin 2,3 kertaa  
suurempi kuin kevyen polttoöljyn tankista. Aluksen tankkitilojen järjestelyissä on huomioita-  
va myös nestemäistä kaasua sisältävän tankin vaatimat suoja- ja eriste-etäisyydet, jolloin tila-  
tarve kokonaisuudessaan on noin nelinkertainen. Todellista eroa tilatarpeessa polttoöljy- ja  
kaasutankin välillä vähentää kuitenkin se, että polttoöljytankkia ei voida sijoittaa suoraan  
aluksen pohjaa tai kylkeä vasten, vaan välissä on oltava niin sanottu kaksoispohja.[26, 27, 28,  
29]

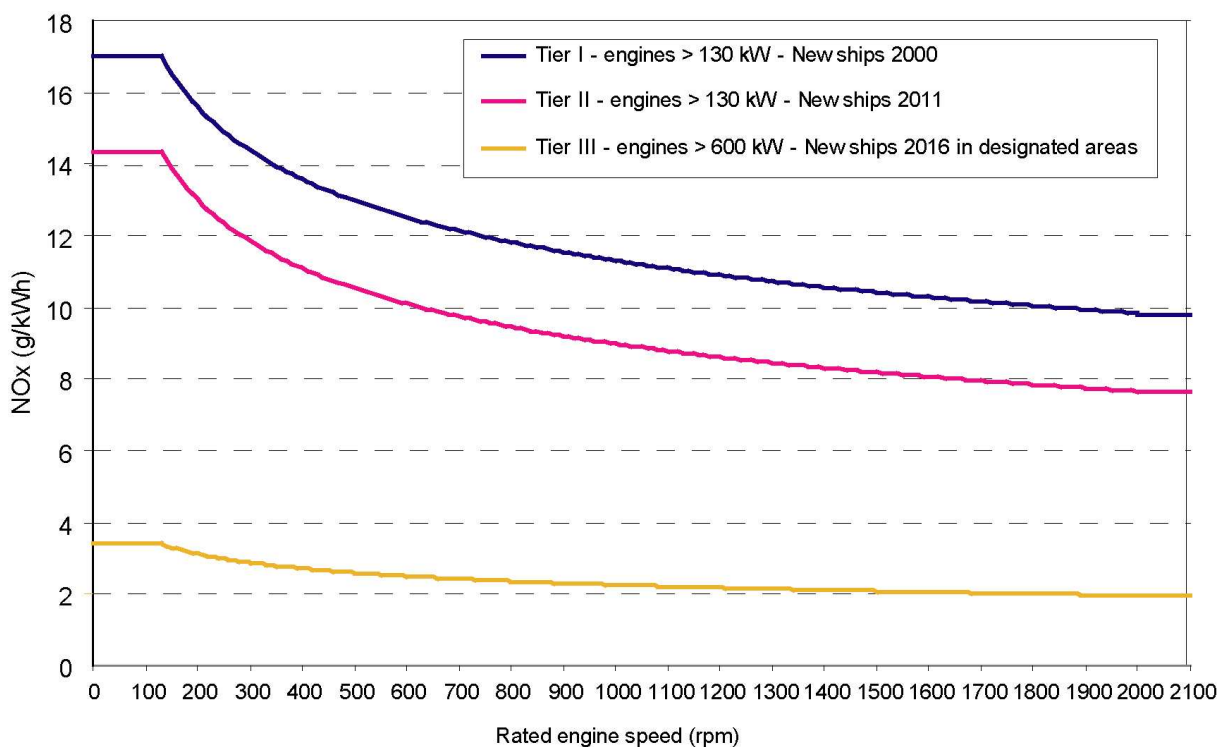
Polttoaineena käytettävä maakaasu nesteytyy normaalissa ilmanpaineessa noin -163 celsius as-  
teen (C°) lämpötilassa. Kaasu varastoidaan ja säilytetään paineistamalla se noin 10 barin pai-  
neeseen. Nesteytetyn kaasun säilytyksen sivutuotteena muodostuvaa kylmyyttä voidaan käyt-  
tää aluksen sisätilojen ilmanvaihdossa tarvittavaan viilennykseen. Itse polttoainetta voidaan  
kuljettaa ja siirtää kuten kevyttä polttoöljyä tankkiautolla tai laiturialueella olevan välivaraston  
kautta alukselle pumpaten.[26, 27, 28, 29, 46]

#### **4.5 Itämerellä liikennöiviä aluksia koskevia päästömääräyksiä**

Yhdistyneiden kansakuntien (YK) alaisuudessa toimivan Kansainvälisen merenkulkujärjestön  
(IMO, International Maritime Organization) toimesta ylläpidetään vuonna 1983 (2.10.1983)  
voimaan astunutta, merivesien pilaantumisen ehkäisemiseen tähtäävää MARPOL-  
yleissopimusta. Vuonna 1997 sopimukseen lisätyssä liitteessä IV on asetettu rajoituksia aluk-  
sista ilmakehään vapautuville päästöille. Sopimusta liitteineen kehitetään jatkuvasti ja viimei-  
sin uudistettu liite IV tulee voimaan 1.7.2010.[16]

Laivadiesel-moottoreiden osalta päästöjä vähennetään typen (N) ja rikin (S) oksidipäästöjä  
(NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>) vähentämällä. Typpioksidien osalta päästörajoitukset on sidottu moottorin kierros-  
lukuun ja päästöjen vähentäminen pyritään toteuttamaan moottoritekniisiä ratkaisuja kehittä-  
mällä. Kuvassa 6 on esitetty voimassa oleva (Tier I), sekä vuonna 2011 (Tier II) ja 2016 (Tier  
III) voimaan tulevat rajoitukset. Rikkioksidien vähentäminen toteutetaan polttoaineiden rikki-  
pitoisuuksia pienentämällä.[16]





Kuva 6. Laivamoottoreita koskevat NO<sub>x</sub> rajoitukset Tier I, II ja III [16]

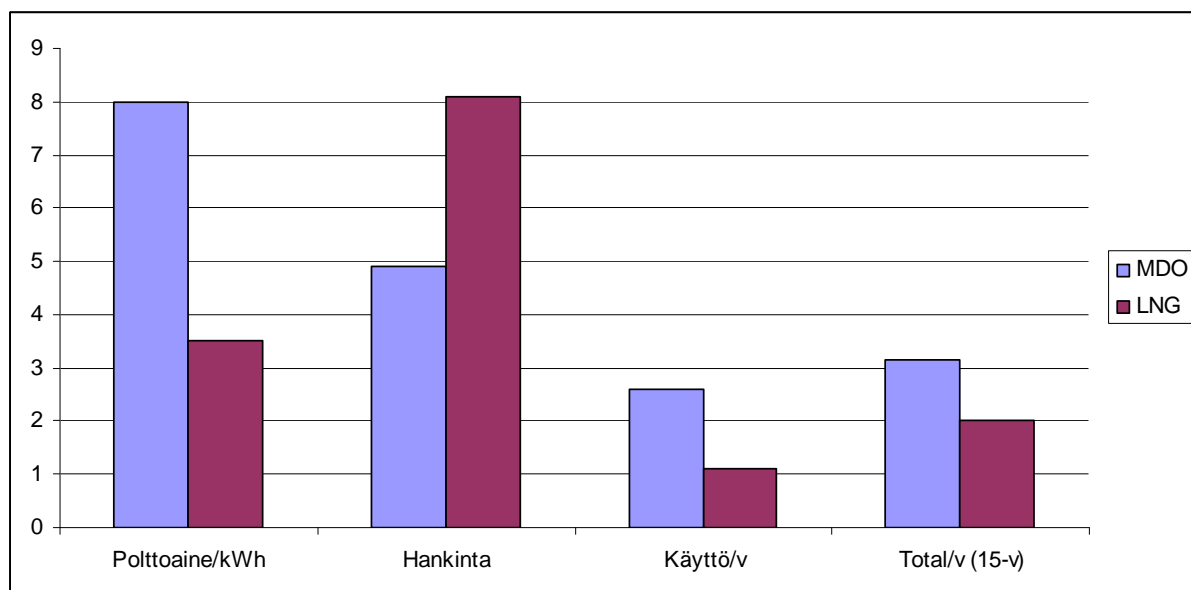
Itämeri, herkkänä ja uhanalaisena merialueena, liitettiin Euroopan Unionin (EU) rikkidirektiivin nojalla 19.5.2006 niin kutsuttuihin rikin oksidipäästöjen seuranta-alueisiin (SECA, SO<sub>x</sub> Emission Control Area). Näillä alueilla laivapolttoaineiden rikkipitoisuuden raja on 1,5 %, 1.7.2010 jälkeen 1,0 % ja 1.1.2015 jälkeen 0,1 %. Vaihtoehtona vähärikkisen polttoaineen käytölle on käyttää esimerkiksi rikkipesureita pakokaasujen rikin oksidipitoisuuksien alentamiseksi.[16]

#### 4.6 Teknisten ratkaisujen vertailua

Tutkimustyössä esitetyt tekniset mahdollisuudet vaikuttaa alusten ympäristöpäästöihin osoittautuivat mielenkiintoisiksi ja toteuttamiskelpoisiksi. Toisaalta kävi ilmi, että käytettäessä fossiilisia polttoaineita ei voida välttyä ympäristölle aiheutuvalta kuormitukselta, jonka suuruuteen tekniset vaikuttamismahdollisuudet ovat melko rajalliset.

Erilaisia moottoritekniisiä vaihtoehtoja verrattaessa nousee esille yhdistävänä tekijänä kustannusten ja teknisten järjestelmien monimutkaisuuden lisääntyminen sekä tekniselle kokonaisuudelle tarvittavan tilan kasvu. Parhaimmalta, kustannustehokkaimmalta ja myös tulevat päästönormit täyttävältä vaihtoehdolta vaikuttaa kaasukäyttöinen DF-moottori. Se on hankintahinnaltaan kallein, mutta edullisemmän polttoaineen ja pienemmän huoltotarpeen johdosta elinkaarimallilla laskettuna selvästi taloudellisimmin ja ylivoimaisesti vähäpäästöisin vaihtoehto.

to.[26] Kuvassa 7 on vertailtu erään 7300 TEU rahtialuksen apumoottoreina käytettävien Wärtsilä 32 diesel- ja 34 DF-moottoreiden kustannuksia. Diesel-moottorin kohdalla ei ole huomioitu mahdollisista katalysaattoreista aiheutuvia kustannuksia.[26]



Kuva 7. Rinnakkaisten Diesel- ja DF-moottorimallien aiheuttamien kustannusten vertailu. Luvut ovat keskenään vertailukelpoisia, pl polttoaine, joka on skaalattu asteikkoon.[26]

Toimiakseen optimaalisesti DF-konsepti edellyttää sähköistä propulsiojärjestelmää. Perinteisenä sähköisenä järjestelmänä pitkine akselilinjoineen, kiinteine potkureineen ja peräsimineen toteutettuna se aiheuttaisi merkittäviä häviöitä kokonaisenergiataloudessa. Pod-propulsiojärjestelmien kehityksen myötä sähköinen propulsiovaihtoehto on kuitenkin osoittautunut erittäin kilpailukykyiseksi vaihtoehdoksi, taulukko 2. Lisäksi pod-propulsion etuna ovat aluksen manöveeraus- ja jäissäkulkuominaisuuksien merkittävä parantuminen.

Koneisto/Propulsio	Mekaaninen [9, 10]	Sähköinen [21]	Mekaaninen pod [9, 10]	Sähköinen pod [21]
Diesel	0,98	0,9	0,99	0,9
Dual-fuel	ei mahdollinen	0,9	ei mahdollinen	0,9
Virtausvastus	1,0	1,0	0,85 - 0,95	0,85 - 0,95
Hyötysuhde	0,98	0,9	1,16 - 1,04	1,05 - 0,95
Vertailuluku (karkea)	1,0	0,9	1,1	1,0

Taulukko 2. Propulsio- ja koneistovaihtoehtojen vertailua. (luvut ovat suhteellisia)

Aluksen runkomuoto ja sen ominaisuudet halutussa käyttötarkoituksessa ovat käyttäjän kannalta erityisen tärkeitä tekijöitä. Runko aiheuttaa vedessä liikkeessaan aina kulkuvastusta, joka korostuu jos alusta on tarkoitus käyttää myös jääolosuhteissa ja runkomuoto valitaan sen mukaisesti. Mikäli alus on varustettu pod-propulsiojärjestelmällä, on sen perän muoto erinomaisesti jäänmurtoon soveltuva.

Teknisinä ratkaisuinä mielenkiintoisen yhdistelmän muodostavat avovesiolosuhteisiin optimoitu DA-runko, sähköinen pod-propulsio ja DF-koneistolla toimiva voimalaitos. Tässä kombinaatiossa yhdistyvät pieni virtausvastus avovedessä, hyvä operointikyky jääolosuhteissa, erinomaiset manöverointi ominaisuudet, mahdollisuus käyttää erittäin vähäpäästöistä ja edullista polttoainetta, samalla kuitenkin mahdollistaen operoinnin myös pelkällä kevyellä polttoöljyllä, joustava mahdollisuus operoida taloudellisesti laajalla tehoalueella ja huoltovaipaampi koneistojärjestelmä.

## 5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Ympäristöarvot vaikuttavat nykyisin merkittävästi kaikkien organisaatioiden toimintaan. Ilmastomuutoksen myötä keskustelu mediassa on vilkasta, ja median huomio kohdistuu säännöllisesti ilmiöihin, joilla on vaikutusta ympäristön tilaan. Tutkimustyön aikana esille tulleiden seikkojen perusteella ei käynyt ilmi, että yhteiskunnan ylläpitämien turvallisuusorganisaatioiden toimintaa olisi juurikaan kritisoitu tai kyseenalaistettu. Yhteiskuntaeettinen kehitys on kuitenkin johtanut siihen, että eri organisaatioiden on otettava toiminnassaan korostetusti huomioon ympäristöasiat ja pystyttävä perustelemaan tehdyt valinnat voimassaolevia normeja laajemmin.

Työssä esitellyt tekniset vaihtoehdot tarjoavat hyviä mahdollisuuksia kehittää Rajavartiolaitoksen aluskalustoa aiempaa ympäristöystävällisemmäksi säilyttäen samalla aluksilta edellytetyt operatiiviset vaatimukset. Alusten aiheuttama ympäristökuormitus ei kuitenkaan muodostu pelkästä tekniikasta, vaan kokonaisuuteen vaikuttaa moni muukin tekijä. Ympäristökuormitus alkaa aluksessa käytettävien materiaalien valmistuksesta, kattaa koko aluksen käyttöhistorian huoltoineen ja peruskorjauksineen ja päättyy sen romuttamiseen. Vastuullisen organisaation on huomioitava pitkäjänteisesti omassa suunnittelussaan tämä mahdollisesti jopa 30 - 50 vuotta kestävä ajanjakso.

Operatiivisen toiminnan aiheuttama ympäristökuormitus on aluksen teknisen toteutuksen lisäksi riippuvainen aluksella palvelevan henkilöstön toiminnasta ja alukselle käskettyjen tehtävien suoritustavasta. Tässä korostuvat organisaation (ympäristö)arvot ja niiden hengen kouluttaminen läpi koko henkilöstörakenteen, sekä vuorovaikutustarve teknisessä ja operatiivisessa suunnittelussa. Yhdistämällä esimerkiksi edellisen luvun pohdinnan mukaisesti DF-sähköinen pod-propulsio avovesiolosuhteisiin optimoituun DA-runkoratkaisuun saadaan ympäristöystävällinen alus, joka kykenee operoimaan itsenäisesti jääolosuhteissa, kohtuullisesti keula edellä ja vaikeissa olosuhteissa perä edellä. Valitsemalla alukseen sellaiset komponentit, jotka mahdollistavat aluksen operoinnin risteilynopeudella pelkällä apukonekäytöllä, voidaan saavuttaa merkittävää operatiivista lisäarvoa aiheuttamatta ympäristökuormituksen lisääntymistä. Tämä tarkoittaa siis sitä, että alus voi suorittaa partiointia samalla energiankulutuksella, mikä sillä on sen ollessa ankkuroituneena.

Tutkimustyön lähtökohtana olivat seuraavat tutkimuskysymykset tai -ongelmat:

- 1) Millainen vaikutus erilaisilla teknisillä ratkaisuilla on aluksen aiheuttamaan ympäristökuormitukseen?
- 2) Mitä seurannaisvaikutuksia ympäristötietoiset valinnat aiheuttavat?
- 3) Voidaanko onnistuneilla ympäristötietoisilla valinnoilla tukea organisaation julkisuuskuvaa?

Työssä käsitellyistä teknisistä ratkaisuista, joita olivat vedenalaisen rungon muoto, propulsiojärjestelmä ja koneistojärjestelmä, voidaan kaikilla vähentää aluksen ympäristökuormitusta. Merkittävin näistä on rungon muoto, jonka valinnalla aluksen polttoainekulutus voi laskea jopa 30 %. Toinen merkittävä tekijä on aluksen liikuttamiseen käytettävä koneisto. Pyrittäessä täyttämään alusten päästöistä asetetut IMO-Tier III vaatimukset, on tällä hetkellä ainut todellinen vaihtoehto käyttää DF-laivamoottoreita. Samalla tämä yhtäältä rajaa alukseen asennettavan propulsio-järjestelmän vain sähköiseksi, mutta toisaalta tukee sitä tosiasiaa, että monitoimikäyttöön tarkoitettussa vartiolaivassa sähköinen pod-propulsio on ainut järkevä vaihtoehto.

Ympäristötietoisilla valinnoilla voidaan saavuttaa pitkän tarkasteluvälin aikana kustannussäästöjä alusten operointikuluissa ja tutkimustyön valossa myös tukea Rajavartiolaitoksen aluksilla suoritettavaa operatiivista toimintaa. Niillä ei havaittu olevan toimintaa rajoittavia seurannaisvaikutuksia.

Rajavartiolaitoksen julkisuuskuvan kannalta tarkasteltuna ympäristötietoisien valintojen vaikutus jää avoimeksi. Tämän tutkimuksen puitteissa ei voitu yksiselitteisesti osoittaa, että ympäristöystävällisen tekniikan käyttö vartiolaivoissa vaikuttaisi positiivisesti organisaation julkisuuskuvaan. Kuitenkin nykyisessä informaatioyhteiskunnassa valinnat on tehtävä ympäristötietoisesti ja kyettävä perustelemaan yhteiskuntaeettisesti kestävästi. Mikäli näin ei menetellä, voi organisaation toiminta joutua mediakritiikin kohteeksi. Oikein toteutetuilla valinnoilla ja ennakoivalla informoinnilla myös Rajavartiolaitos voi välttää median negatiivisen huomion.

Esille nousseita lisäselvitystä vaativia seikkoja ja jatkotutkimusaiheita:

1. Rajavartiolaitoksen alusten käytön kokonaisvaltainen suunnittelu ja ohjeistaminen niin, että alusten käytössä korostuu niiden ominaisuuksien täysimittainen hyödyntäminen

2. Pitkántähtäimen ympäristöohjelman luominen Rajavartiolaitokseen aluksille ja sen mukaisten arvojen jalkauttaminen henkilöstölle läpi koko hallintorakenteen
3. Teknisen koulutusjärjestelmän luominen Rajavartiolaitoksen aluksilla palvelevalle kansi- ja konepäällystölle.

## LÄHTEET

- [1] Ajanko, Risto. Laivarungon virtauslaskentaprosessin kehittäminen. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu. 2008.
- [2] Amberla, Arno. Proventia Emission Control. Pakokaasun jälkikäsittelyt dieselmootto-reissa - Työkoneet ja raskas kalusto. Luento. Tekniikan päivät, Espoo 14-15.1.2010.
- [3] Baarman, Svante. Rakennusvalvoja, VI Tursas ja Uisko. Haastattelu 25.3.2010.
- [4] Haila, Yrjö. Mikä ympäristö?, teoksessa Haila, Yrjö & Jokinen, Pekka (toim) Ympäris-töpolitiikka. Mikä ympäristö, kenen politiikka? Vastapaino. Tampere. 2001.
- [5] Haila, Yrjö. Ympäristöherätys, teoksessa Haila, Yrjö & Jokinen, Pekka (toim) Ympäris-töpolitiikka. Mikä ympäristö, kenen politiikka? Vastapaino. Tampere. 2001.
- [6] Harjula, Arto. Laivatyytit - Jäänmurtajat, teoksessa Räisänen Pekka (toim.), Laivatek-niikka - Modernin laivanrakennuksen käsikirja. Gummerus, Jyväskylä. 2000.
- [7] Heiskanen, Mika. Lisäarvon tuottaminen risteilylaivakonseptin energiatehokkuutta ke-hittämällä. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu. 2009.
- [8] Hämäläinen, Raimo. Laivateorian perusteet - Ohjailu, teoksessa Räisänen Pekka (toim.), Laivatekniikka - Modernin laivanrakennuksen käsikirja. Gummerus, Jyväskylä. 2000.
- [9] Häkkinen, Pentti. Laivan koneistot. Teknillinen korkeakoulu. 2007.
- [10] Häkkinen, Pentti. Laivan kuljetuskoneisto. Teknillinen korkeakoulu. 1997.
- [11] Ikävalko, Ilkka. Konetarkastaja, Suomenlahden merivartiosto. Haastattelu 26.1.2010.
- [12] Juurmaa, Kimmo. Laivateorian perusteet - Jäänmurron erikoisvaatimukset, teoksessa Räisänen Pekka (toim.), Laivatekniikka - Modernin laivanrakennuksen käsikirja. Gum-merus, Jyväskylä. 2000.

- [13] Kallio, Tomi. Moderni ympäristöjohtaminen: historia, käsite ja organisatorinen kenttä. Turun kauppakorkeakoulun julkaisuja, Turku. 2001.
- [14] Kanerva, Markku. Linjat eli runkomuoto, teoksessa Räisänen Pekka (toim.), Laivatekniikka - Modernin laivanrakennuksen käsikirja. Gummerus, Jyväskylä. 2000.
- [15] Kanerva, Markku. Laivateorian perusteet - Nopeus ja koneteho, teoksessa Räisänen Pekka (toim.), Laivatekniikka - Modernin laivanrakennuksen käsikirja. Gummerus, Jyväskylä. 2000.
- [16] Kansainvälisen merenkulkujärjestön (IMO) yleissopimus, MARPOL 73/78.
- [17] Karikoski, Aarno. Laivatekniikan terminologiaan ja käsitteitä, teoksessa Räisänen Pekka (toim.), Laivatekniikka - Modernin laivanrakennuksen käsikirja. Gummerus, Jyväskylä. 2000.
- [18] Kettunen, Antti. Voimalaitoksen ajotavan vaikutus DAT-aluksen elinkaartilouteen ja turvallisuuteen avovedessä. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu. 2007.
- [19] Kinnunen, Nina. Viherpesua vai vastuuta? Yritys-ympäristösuhde suomalaisessa mediassa. Pro Gradu. Helsingin yliopisto. 2006.
- [20] Kouvonon, Sami. Laivan runkomuodon optimointi parametrein. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu. 2000.
- [21] Kymäläinen, Veikko. Teknis-taloudellinen malli matalakulkuisen jäänmurttajan koneistoalintaan. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu. 2009.
- [22] Laki Rajavartiolaitoksesta, 278/2005.
- [23] Leiviskä, Topi. Kirjallisuuskatsaus laivan propulsiokertoimista jäissä. Teknillinen korkeakoulu. 2002.
- [24] Leiviskä, Topi. Laivan propulsiokertoimien kokeellinen määrittäminen jäissä. Teknillinen korkeakoulu. 2002.



- [25] Leiviskä, Topi. Laivan propulsiokertoimet jäissä ja avovedessä. Teknillinen korkeakoulu. 2004.
- [26] Levander, Oskar. Director R&D, Ship Power R&D / Wärtsilä Corporation. LNG auxiliary power in port for container vessels. Artikkele. Wärtsilä technical journal 02.2008.
- [27] Levander, Oskar. Director R&D, Ship Power R&D / Wärtsilä Corporation. Alternative fuel and machinery technology for ferries. Esitelmä. RoRo 2008 Gothenburg, 21.3.2008.
- [28] Levander, Oskar. Director R&D, Ship Power R&D / Wärtsilä Corporation. Alternative fuels for ships. Esitelmä. Hållbara transporter 2008, Tukholma 14.10.2008.
- [29] Levander, Oskar. Director R&D, Ship Power R&D / Wärtsilä Corporation. Reducing local emissions by switching to LNG. Esitelmä. Motorship propulsion & Emissions conference 2008, Gothenburg 22.3.2008.
- [30] Lindholm, Pirita. Ympäristönsuojelu yrityksissä, teoksessa Haila, Yrjö & Jokinen, Pekka (toim) Ympäristöpolitiikka. Mikä ympäristö, kenen politiikka? Vastapaino. Tampere 2001.
- [31] Lopmeri, Pekka. Laivatyytit - Sota-alukset, teoksessa Räisänen Pekka (toim.), Laivateknikka - Modernin laivanrakennuksen käsikirja. Gummerus, Jyväskylä. 2000.
- [32] Matusiak, Jerzy & Kanerva, Markku. Laivateorian perusteet - Potkuri, teoksessa Räisänen Pekka (toim.), Laivateknikka - Modernin laivanrakennuksen käsikirja. Gummerus, Jyväskylä. 2000.
- [33] Matusiak, Jerzy. Hydrodynamiikan sovellukset sota-aluksissa – Ennuste vuoteen 2020. Teknillinen korkeakoulu. 2004.
- [34] Matusiak, Jerzy. Johdatus laivan aallonmuodostukseen. Teknillinen korkeakoulu. 2005.
- [35] Matusiak, Jerzy. Laivan kulkuvastus. Teknillinen korkeakoulu. 2007.

- [36] Matusiak, Jerzy. Laivan propulsio. Teknillinen korkeakoulu. 2007.
- [37] Ojanen, Mirva. Ruoripotkurilaitteen kääntömomentin määrittäminen jäissä kulkevissa aluksissa. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu. 2006.
- [38] Pihkola, Hanna. Ympäristöarvot osana liiketoimintaa. Pro Gradu. Turun kauppakorkeakoulu. 2005.
- [39] Portin, Kaj. Wärtsilä Corporation. Wärtsilä gasmotorer - Utmangar och möjligheter. Luento. Tekniikan päivät, Espoo 14-15.1.2010.
- [40] Raikio, T. Wärtsilä Corporation. 2-vaihehaatus, Jäähvyäiset NO<sub>x</sub>-päästöille. Luento. Tekniikan päivät, Espoo 14-15.1.2010.
- [41] Rintanen, Satu. Eettisyys luonnonympäristön ja yritystoiminnan suhteessa, teoksessa Ketola, Tarja (toim) Yritysten ympäristöjohtaminen. Päämäärät, käytännöt ja arviointi. Turun kauppakorkeakoulun julkaisuja. Turku. 2004.
- [42] Shivastava, Paul. Castrated environment: Greening organizational studies. Organizational Studies, Vol. 15, No: 5. 1994.
- [43] Simola, Niina. Risteilyaluksen propulsiokoneiston valinta. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu. 2008.
- [44] Soimajärvi, Juha-Pekka. Rakennusvalvoja, VI Merikarhu. Haastattelu 25.1.2010.
- [45] Takala, Tuomo. Yrityksen yhteiskunnallisen vastuun ideologiat v.2000 - suomalainen yritys globalisoituvassa maailmassa. Liiketaloudellinen Aikakauskirja, No: 4. 2000.
- [46] Tikkanen, Olli. LNG:n käyttö polttoaineena matkustaja-aluksissa. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu. 2006.
- [47] Tursas ja Uisko konversio teknillinen erittely 30.9.2003. Rajavartiolaitoksen esikunta.

- [48] Ulkovartiolaivan sopimuserittely L-406 Finnyards P.Utter 4.6.1993. Rajavartiolaitoksen esikunta.
- [49] Uuden monitoimiulkovartiolaivan operatiiviset vaatimukset. Raportti. Rajavartiolaitoksen esikunta 2009.
- [50] Valkonen, Matti. Rakennusvalvoja, VI Tavi (Telkkä-luokka). Haastattelu 27.2.2010.
- [51] Valtioneuvoston asetus aluksista aiheutuvan ympäristön pilaantumisen ehkäisemisestä 28.6.1993 / 635.
- [52] Vartiolaiva 2000 teknillinen erittely 4.11.1997 (Telkkä-luokka). Rajavartiolaitoksen esikunta.
- [53] [www.raja.fi/rv1/bulletin.nsf/PFBD/3C1166B8AA47A871C225721400418AB1](http://www.raja.fi/rv1/bulletin.nsf/PFBD/3C1166B8AA47A871C225721400418AB1), 3.1.2010 (Rajavartiolaitos lopettaa harmaavesien tyhjentämisen mereen, 27.10.2006).
- [54] [www.raja.fi/rv1/bulletin.nsf/PFBD/5FF226D8C170A06BC2256E0D0041188C](http://www.raja.fi/rv1/bulletin.nsf/PFBD/5FF226D8C170A06BC2256E0D0041188C), 3.1.2010 (Vartiolaivat Tursas ja Uisko peruskorjataan, 31.12.2003).
- [55] [www.raja.fi/rv1/bulletin.nsf/PFBD/F3DD0DA7812ADB64C225704D004071DB](http://www.raja.fi/rv1/bulletin.nsf/PFBD/F3DD0DA7812ADB64C225704D004071DB), 3.1.2010 (Rajavartiolaitoksen käyttöön monitoimialus, 29.7.2005).
- [56] [www.wartsila.com/Wartsila/global/docs/en/ship\\_power/products/2009/main-data-wartsila20.pdf](http://www.wartsila.com/Wartsila/global/docs/en/ship_power/products/2009/main-data-wartsila20.pdf), 4.4.2010 (Wärtsilä Engines. Wärtsilä 20 main data, page 58).
- [57] [www.wartsila.com/Wartsila/global/docs/en/ship\\_power/media\\_publications/brochures/product/engines/medium\\_speed/wartsila20df-info-leaflet.pdf](http://www.wartsila.com/Wartsila/global/docs/en/ship_power/media_publications/brochures/product/engines/medium_speed/wartsila20df-info-leaflet.pdf), 27.1.2010 (Wärtsilä Engines. Wärtsilä 20DF info-leaflet. Bock's Office 11.2009.).
- [58] [www.wartsila.com/Wartsila/global/docs/en/ship\\_power/media\\_publications/brochures/product/engines/medium\\_speed/Wartsila\\_20\\_technology\\_review\\_2007.pdf](http://www.wartsila.com/Wartsila/global/docs/en/ship_power/media_publications/brochures/product/engines/medium_speed/Wartsila_20_technology_review_2007.pdf), 27.1.2010 (Wärtsilä Engines. Wärtsilä 20 technology review. Bock's Office 01.2007).

- [59] [www.wartsila.com/Wartsila/global/docs/en/ship\\_power/products/2009/main-data-wartsila32.pdf](http://www.wartsila.com/Wartsila/global/docs/en/ship_power/products/2009/main-data-wartsila32.pdf), 4.4.2010 (Wärtsilä Engines. Wärtsilä 32 main data, page 60).
- [60] [www.wartsila.com/Wartsila/global/docs/en/ship\\_power/media\\_publications/brochures/product/engines/medium\\_speed/wartsila\\_32\\_tech\\_review.pdf](http://www.wartsila.com/Wartsila/global/docs/en/ship_power/media_publications/brochures/product/engines/medium_speed/wartsila_32_tech_review.pdf), 27.1.2010 (Wärtsilä Engines. Wärtsilä 32 technology review. Bock's Office 10.2009).
- [61] [www.wartsila.com/Wartsila/global/docs/en/ship\\_power/products/2009/main-data-wartsila34df.pdf](http://www.wartsila.com/Wartsila/global/docs/en/ship_power/products/2009/main-data-wartsila34df.pdf), 4.4.2010 (Wärtsilä Engines. Wärtsilä 34DF main data, page 66).
- [62] [www.wartsila.com/Wartsila/global/docs/en/power/media\\_publications/brochures/wartsila34df-technology-brochure-2009.pdf](http://www.wartsila.com/Wartsila/global/docs/en/power/media_publications/brochures/wartsila34df-technology-brochure-2009.pdf), 27.1.2010 (Wärtsilä Engines. Wärtsilä 34DF Engine technology. Bock's Office 02.2009.).