

Johanna Yliskylä-Peuralahti<sup>1</sup>, Katariina Ala-Rämi<sup>2</sup>,  
Risto Rova<sup>2</sup>, Tanja Kolli<sup>3</sup> ja Eva Pongracz<sup>3</sup>

# Polaarikoodin turvallisuus- ja ympäristö- vaatimusten yhteensovittaminen Suomessa

Maaliskuu 2016

Valtioneuvoston selvitys-  
ja tutkimustoiminnan  
julkaisusarja 11/2016

---

<sup>1</sup> Turun yliopiston Brahea-keskus, MKK

<sup>2</sup> Turun yliopiston Brahea-keskus, MKK Oulu

<sup>3</sup> Oulun yliopisto, Teknillinen tiedekunta, Energia ja ympäristötekniikan tutkimusyksikkö

## KUVAILULEHTI

<b>Julkaisija ja julkaisuaika</b>	Valtioneuvoston kanslia 24.3.2016		
<b>Tekijät</b>	Johanna Yliskylä-Peuralahti, Katariina Ala-Rämi, Risto Rova, Tanja Kolli, Eva Pongracz		
<b>Julkaisun nimi</b>	Polaarikoodin turvallisuus- ja ympäristövaatimusten yhteensovittaminen Suomessa		
<b>Julkaisusarjan nimi ja numero</b>	Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 11/2016		
<b>Asiasanat</b>	Polaarikoodi, arktinen merenkulku, meriturvallisuus, ympäristönsuojelu		
<b>Julkaisuaika</b>	Maaliskuu, 2016	<b>Sivuja</b> 82	<b>Kieli</b> suomi

### Tiivistelmä

Kansainvälisen merenkulkujärjestön IMO:n polaarikoodi on kaikkia maita sitova normi, jolla pohjoisilla arktisilla alueilla ja Etelämannerta ympäröivillä alueilla purjehtiville lasti- ja matkustaja-aluksille säädetään muita alueita tiukempia turvallisuutta ja ympäristönsuojelua koskevia määräyksiä. Polaarikoodin turvallisuus- ja ympäristövaatimukset tulevat voimaan 1.1.2017 ja miehistön pätevyys- ja koulutusvaatimukset todennäköisesti 1.7.2018.

Polaarikoodin voimaantulon valmistelua varten viranomaiset Suomessa käynnistivät selvityshankkeen "Polaarikoodin turvallisuus- ja ympäristövaikutusten yhteensovittaminen Suomessa (POLARCODE)". Hanke toteutettiin Turun yliopiston Brahea-keskuksen Merenkulkualan koulutus- ja tutkimuskeskuksen ja Oulun yliopiston teknillisen tiedekunnan energia- ja ympäristötekniikan tutkimusryhmän yhteistyönä.

Polaarikoodin voimaantulo tukee Suomen arktisen strategian tavoitteita olla jatkossa arktisen meriteollisuuden ja varustamotoiminnan johtava asiantuntija sekä pitää suomalaisyritykset jatkossa vahvasti mukana etenkin arktisten alueiden kehittämisessä ympäristöllisesti kestäväällä tavalla.

Polaarialueiden ympäristön tilan kannalta erityisesti laivojen painolastivesiä ja ilmastomuutosta voimistavia kasvihuonekaasupäästöjä koskevat rajoitukset olisivat merkittäviä. Polaarikoodiin ei kuitenkaan vielä sisälly näitä päästöjä koskevia rajoituksia. Painolastivesilaitteistojen toimivuuteen Polaarialueiden kylmissä oloissa liittyy lukuisia epävarmuuksia. IMO:n Painolastivesiyleissopimuksen voimaantulo voi olla myönteisiä vaikutuksia suomalaiselle meriteknologiateollisuudelle (clean tech), kun markkinat uusille painolastiveden käsittelyjärjestelmille laajenevat.

Laivojen lyhytikäisten mustahiilipäästöjen torjunta toisi merkittäviä ilmasto- ja terveysvaikutuksia. Torjuntamenetelmien kehitys vaatii standardoidun mustahiilen mittaamenetelmän kehittämisen, jotta mahdollinen päästövähennystarve täsmentyisi. NO<sub>x</sub>-, SO<sub>x</sub>- ja CO<sub>2</sub>-päästötكنولوجياiden kehittäminen, parantaminen tai näiden teknologioiden yhdistäminen myös mustahiilipäästöille soveltuvaksi toisi markkinaetua. Suomen rooli on tukea IMO:a tässä työssä.

Tämä julkaisu on toteutettu osana valtioneuvoston vuoden 2015 selvitys- ja tutkimussuunnitelman toimeenpanoa ([www.vn.fi/teas](http://www.vn.fi/teas)).

Julkaisun sisällöstä vastaavat tiedon tuottajat, eikä tekstisisältö välttämättä edusta valtioneuvoston näkemystä.

## DESCRIPTION

<b>Publisher and release date</b>	Prime Minister's office, March 14th, 2016		
<b>Authors</b>	Johanna Yliskylä-Peuralahti, Katariina Ala-Rämi, Risto Rova, Tanja Kolli, Eva Pongracz		
<b>Title of publication</b>	Matching Safety and Environmental Regulations regarding the International Maritime Organization's Polar Code in Finland (POLARCODE)		
<b>Name of series and number of publication</b>	Publications of the Government's analysis, assessment and research activities 11/2016		
<b>Keywords</b>	Polar code, Arctic shipping, maritime safety, environmental protection		
<b>Release date</b>	March, 2016	<b>Pages</b> 82	<b>Language</b> Finnish

### Abstract

The IMO's Polar Code is an international binding norm addressed to cargo and passenger vessels sailing in Arctic and Antarctic waters. The environmental and safety regulations of the code will come in force January 1st, 2017, and the regulations regarding qualifications and training of the crew presumably July 1<sup>st</sup>, 2018.

In order to prepare for the implementation of the Polar Code, governmental authorities in Finland initiated a project "Matching the Safety and Environmental Regulations of the Polar Code in Finland (POLARCODE)". The project was implemented by Brahea Centre at the University of Turku/ Centre for Maritime Studies and the Research Group for Energy and Environmental Technology at the Faculty of Technical Sciences of the University of Oulu.

The enforcement of the Polar code supports the aims of the Finnish Arctic Strategy. This concerns especially the aims of being the leading expert of Arctic maritime and shipping industry and to ensure the presence of Finnish companies strongly in development of Arctic regions in an environmentally sustainable manner.

Restrictions of short-lived greenhouse gas emissions and vessel's ballast water would bring significant environmental benefits in Polar regions. These restrictions are not yet included in the Polar Code. The functionality of the ballast water treatment equipment in the cold conditions is uncertain. The implementation of the IMO's Ballast Water Convention can result in positive consequences for Finnish maritime and clean tech industries as the markets for new ballast water management systems expand.

The prevention of the short-lived greenhouse gas emissions originating from vessels, in particular black carbon, would bring significant climate and health benefits. The development of prevention methods for these emissions requires a standardized black carbon measurement method so that the goal for emission reductions could be set. The development for, improvement and combining of the treatment technology for NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> and CO<sub>2</sub> emissions to be suitable for reducing black carbon emissions could bring market benefits for companies. The role of Finland is to support the IMO in this task.

This publication is part of the implementation of the Government Plan for Analysis, Assessment and Research for 2015 ([www.vn.fi/teas](http://www.vn.fi/teas)).

The content is the responsibility of the producers of the information and does not necessarily represent the view of the Government.

# SISÄLLYS

<b>Lyhenteet .....</b>	<b>6</b>
<b>Esipuhe .....</b>	<b>7</b>
<b>1. Johdanto .....</b>	<b>9</b>
1.1 Työn tausta .....	9
1.2 Työn tavoitteet .....	11
<b>2. Kansainväliset sopimukset.....</b>	<b>13</b>
2.1 Polaarikoodi .....	13
2.2 SOLAS .....	14
2.3 STCW .....	14
2.4 MARPOL, Liite VI: Rikkioksidit (SO <sub>x</sub> ) ja typenoksidit (NO <sub>x</sub> ).....	15
2.5 Energiatehokkuusindeksi (EEDI) ja -suunnitelma (SEEMP) .....	17
<b>3. STCW-yleissopimuksen mukaisten polaarikoodikoulutusten järjestäminen .....</b>	<b>19</b>
3.2 Merenkulkualan täydennyskoulutustarjonta Suomessa .....	20
3.2.1 Nykytila .....	20
3.2.2 Tilat ja laitteet.....	22
3.3. STCW-yleissopimuksen mukaisten Polaarikoodikoulutusten organisointi .....	26
3.4 Pätevyyden osoittaminen ja arviointi .....	27
3.5 Koulutusten sisältö ympäristöasioiden näkökulmasta .....	29
3.6 Markkinat .....	29
<b>4. Laivojen aluskategoriat ja jääluokat .....</b>	<b>32</b>
4.1 Suomalais-ruotsalainen järjestelmä ja polaariluokat .....	32
Aluskategoriat ja jääluokat.....	33
4.2 Arktisilla alueilla operoineiden laivojen vertailu historiallisen tiedon perusteella .....	34
4.3 Järjestelmät, säännökset ja sertifikaatit: POLARIS, PWOM ja polaarilaivatodistuskirja .....	36
POLARIS ja RIO .....	36
Polaariohjekirja .....	38
Polaarilaivatodistuskirja .....	39
4.4 Polaarikoodin toimeenpano Suomen kannalta: laivat, Trafi .....	40
4.5 Jääluokkiin liittyviä kysymyksiä.....	41
<b>5. Alusten painolastivesien käsittelymenetelmät ja -laitteistot.....</b>	<b>43</b>

5.1 Painolastivesiä koskeva yleissopimus ja käsittelylaitteistojen tyyppihyväksyntäohjeistus (G8).....	43
5.2 Laitteistojen valinta ja niiden toiminta .....	45
5.3 Laitteistojen toimivuus kylmissä olosuhteissa ja polaarialueilla .....	46
5.4 Painolastivesiyleissopimuksen merkitys Suomelle (lippuvaltiona), suomalaiselle merenkululle ja laitetoimittajille .....	48
<b>6. Lyhytikäisen mustahiilipäästön torjuntamenetelmät .....</b>	<b>50</b>
6.1 Mustahiili: määritelmä, ominaisuudet ja mittaus .....	53
6.2 Mustahiilipäästöjen vähennyskeinot .....	57
6.3 Operatiiviset menetelmät: energiatehokkuus ja vaihtoehtoiset polttoaineet .....	59
6.4 Tekniset menetelmät: pesurit (SO <sub>x</sub> ), suodattimet (PM) ja NO <sub>x</sub> -poisto .....	63
<b>7. Johtopäätelmät ja suositukset .....</b>	<b>66</b>
<b>LÄHTEITÄ JA TAUSTA-AINEISTOJA .....</b>	<b>73</b>
<b>Liite 1. Esimerkkejä mustahiilen mittausmenetelmistä .....</b>	<b>79</b>
<b>Liite 2. ilmanpäästömenetelmän soveltuvuus mustahiili (BC) torjuntaan .....</b>	<b>80</b>
<b>Liite 3. Painolastivesien käsittelymenetelmät <sup>12</sup> .....</b>	<b>81</b>

## LYHENTEET

AIS	automaattinen tunnistusjärjestelmä
AMAP	Arktisen ympäristön seuranta- ja arviointiohjelma
BC	mustahiili
BLG	Kansainvälisen merenkulkujärjestön alajaosto Bulk Liquid and Gases
CCAC	Ilmasto- ja puhtaan ilman kumppanuuskoalitio
CH <sub>4</sub>	metaani
CLRTAP	kaukokulkeumasopimus
CO	häkä
CO <sub>2</sub>	hiilidioksidi
DME	dimetyylieetteri
DPF	pakokaasuhiukkassuodatin
eBC	ekvivalentti mustahiili
EC	alkuainehiili
ECA	päästörajoitusalue
EEDI	laivojen energiatehokkuussuunnitteluindeksi
EGR	pakokaasun takaisinkierrätys
EGS	pakokaasurikkipesuri
FAME	rasvahapon metyyliesteri
FWS	suolattoman veden rikkipesuri
GHG	kasvihuonekaasut
HFO	raskas polttoöljy
HM	raskasmetalli
IMO	Kansainvälinen merenkulkujärjestö
IPCC	Hallitustenvälinen ilmastonmuutospaneeli
LAC	valoa imevä hiili
LNG	nesteytetty maakaasu
LPG	nesteytetty kiviöljykaasu
MAC	massaspesifinen absorptiopoikkileikkausarvo
MARPOL	kansainvälinen yleissopimus meren pilaantumisen ehkäisemisestä
MDO	vähärikkinen laivapolttoöljy
NH <sub>3</sub>	ammoniakki
N <sub>2</sub> O	dityppioksidi
NMVOC	ei-metaanipitoinen haihtuva orgaaninen yhdiste
NO <sub>x</sub>	typen oksidit
O <sub>3</sub>	otsoni
OC	orgaaninen hiili
PAH	polyaromaattiset hiilivedyt
PM	pienhiukkanen
rBC	heijastava mustahiili
SEEMP	laivan energiatehokkuussuunnitelma
SLCF	lyhytikäinen ilmastonvaikutin
SLCP	lyhytikäinen ilmansaaste
SO <sub>x</sub>	rikkioksidit
SSDR	matkanopeuden alentaminen ja moottorin uudelleen säädöt
SWS	merivesi rikkipesuri
TWP	teknologinen lämmityspotentiaali
UNFCCC	Yhdistyneiden kansakuntien ilmastonmuutossopimus
UNECE	Yhdistyneiden kansakuntien Euroopan talouskomissio
UNEP	Yhdistyneiden kansakuntien ympäristöohjelma
WHO	Maailman terveysjärjestö
WiFE	vesi-polttoaine -emulsio
WMO	Maailman ilmatieteen järjestö
$\delta_{ap}$	hiukkasen valon absorptiovakio

## ESIPUHE

Kansainvälisen merenkulkujärjestön IMO:n Polaarikoodi on kaikkia maita sitova normi, jolla koodissa määritellyillä arktisilla alueilla ja Etelämannerta ympäröivillä alueilla purjehtiville lasti- ja matkustaja-aluksille säädetään muita alueita tiukempia turvallisuutta ja ympäristönsuojelua koskevia määräyksiä merenkulun ympäristöhaittojen ja turvallisuusriskien pienentämiseksi. Polaarikoodin turvallisuus- ja ympäristövaatimukset tulevat voimaan 1.1.2017 ja koodiin liittyvät miehistön pätevyys- ja koulutusvaatimukset todennäköisesti 1.7.2018.

Polaarikoodi koskee aluksia, joilla on SOLAS-todistusasiakirja ja jotka purjehtivat koodissa määritellyillä polaarialueilla (arktinen ja antarktinen alue). Eteläisellä pallonpuoliskolla Polaarikoodin soveltamisalue rajoittuu kehämäisenä vyöhykkeenä Etelämannerta ympäröivään 60. eteläiseen leveyspiiriin. Pohjoisella pallonpuoliskolla Polaarikoodin soveltamisalue rajoittuu Kanadan ja Venäjän aluevesillä 60. pohjoiseen leveyspiiriin. Poikkeuksena on Grönlannin eteläkärjen ja Venäjän Kaninin niemimaan välinen alue, jossa merta ja ilmastoa lämmittävän Golf-virran vuoksi Polaarikoodin vaikutusalue on rajattu kulkemaan pohjoisempaan. Siten Itämeri ei kuulu Polaarikoodin soveltamisalueeseen.

Alusten miehistön pätevyysvaatimukset eivät suoraan koske viranomais- tai sota-aluksia, tai ei-kaupallista toimintaa harjoittavia aluksia. Näiden alusten miehistöiltä voidaan kuitenkin edellyttää vastaavaa pätevyyttä jos se nähdään tarpeelliseksi. Viranomaisalusten miehistöille on monissa maissa, Suomi mukaan lukien, oma koulutusjärjestelmänsä jonka vaatimukset vastaavat ja usein ylittävät siviilialusten miehistöltä vaadittavat pätevyysvaatimukset. Suomessa sotilas- ja viranomaisalusten miehistöistä Polaarikoodiin liittyvät pätevyysvaatimukset voivat vaikuttaa Merivoimien ja Rajavartiolaitoksen koulutukseen.

Polaarikoodin voimaantulon valmistelua varten viranomaiset Suomessa käynnistivät selvityshankkeen "Polaarikoodin turvallisuus- ja ympäristövaikutusten yhteensovittaminen Suomessa (POLARCODE)". Hankkeen tavoitteena oli selvittää miten Polaarikoodin edellyttämä miehistön pätevyyskoulutus tulisi järjestää Suomessa, missä polaarijääolosuhteissa suomalaisruotsalaisen jäätaluokituksen mukaiset alukset voivat turvallisesti liikkua ja miten rajaukset kirjataan aluksen polaariohjekirjaan (Polar Water Operations Manual), mikä on olemassa olevien painolastivesien käsittelymenetelmien ja laitteistojen toimivuus polaarioloissa sekä mitkä ovat käytävissä olevat tekniset ja operatiiviset keinot rajoittaa alusten lyhytkestoisia kasvihuonepäästöjä, etenkin mustahiilipäästöjä. Tässä raportissa esitetään hankkeen keskeiset tulokset. Raportti on tarkoitettu avuksi Polaarikoodin täytäntöönpanoa valmisteleville päätöksentekijöille.

Polaarikoodin astuttua voimaan Trafin tehtäviin kuuluu myöntää suomalaisille aluksille polaarilaivatodistuskirjoja sekä merenkulkijoille Polaarikoodiin liittyviä lisäpätevyystodistuksia. Polaariohjekirjan tarkoitus on auttaa laivan omistajaa, aluksen päällikköä ja miehistöä aluksen käsittelyä koskevassa päätöksenteossa. Ohjekirjassa kuvataan, miten operoidaan normaaliolosuhteissa niin, ettei ylitetä aluksen kulkukykyä. Ohjekirja sisältää lisäksi toimintaohjeet odottamattomien tilanteiden ja onnettomuuksien varalle. Polaarilaivatodistuskirjassa määritellään rajoitteet ja olosuhteet, joissa aluksella voidaan turvallisesti operoida. Laivan omistajan ja päällikön vastuulle jää viime kädessä arvioida missä oloissa aluksella voi turvallisesti purjehtia. Polaarialueilla operoivien aluksien ja merenkulkijoiden on toistaiseksi varsin vähän. Koska kokemus ja polaarialueilla vallitsevien olosuhteiden aito ymmärrys on keskeistä riskien

arvioinnille, suomalaiselle arktiselle ja talvimerenkulkuosaamiselle nähdään olevan kysyntää tulevaisuudessa meriliikenteen ja muun ihmistoiminnan lisääntyessä polaarialueilla.

Polaarialueiden ympäristön tilan kannalta erityisesti laivojen painolastivesiä ja ilmastonmuutosta voimistavia kasvihuonekaasupäästöjä koskevat rajoitukset olisivat merkittäviä. Polaari-koodiin ei kuitenkaan vielä sisälly näitä päästöjä koskevia rajoituksia. Painolastivesilaitteistojen toimivuuteen polaarialueiden kylmissä oloissa liittyy lukuisia epävarmuuksia. Lisäselvitystä vaativia ja onnistuessaan myös mahdollisuuksia Suomelle profiloitua nähtiin mm. painolastivesien hallintajärjestelmien ”lastentautien” selvittämisessä sekä testausympäristöjen tarjoamisessa. Painolastivesiyleissopimuksen voimaantulolla voi olla myös myönteisiä vaikutuksia suomalaiselle meriteknologiateollisuudelle (clean tech), kun markkinat uusille painolastiveden käsittelyjärjestelmille laajenevat.

Laivojen lyhytikäisten mustahiilipäästöjen torjunta toisi merkittäviä ilmasto- ja terveysvaikutuksia. Torjuntamenetelmien kehitys vaatii standardoidun mustahiilen mittausmenetelmän kehittämisen, jotta mahdollinen päästövähennystarve täsmentyisi. Mustahiilestä ja -päästöjen torjumisen eduista tulisi kertoa lisää Suomen meriteollisuudelle. NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> ja CO<sub>2</sub> -päästöteknologioiden kehittäminen, parantaminen tai näiden teknologioiden yhdistäminen myös mustahiilipäästöille soveltuvaksi toisi markkinaetua. Mustahiilipäästörajojen asettaminen Polaari-koodiin vaatii siis vielä paljon lisäselvitystä. Suomen rooli on tukea IMO:a tässä työssä.

POLARCODE-hanke toteutettiin Turun yliopiston Brahea-keskuksen Merenkulkualan koulutus- ja tutkimuskeskuksen ja Oulun yliopiston teknillisen tiedekunnan energia ja ympäristötekniikan tutkimusryhmän yhteistyönä ja Valtioneuvoston kanslian rahoituksella osana Valtioneuvoston vuoden 2015 selvitys- ja tutkimussuunnitelman toimeenpanoa. Tämän raportin kirjoittamisesta vastasivat seuraavat henkilöt: Katariina Ala-Rämi (luvut 4 ja 5), Tanja Kolli ja Eva Pongracz (luvut 2 ja 6), Risto Rova (luku 3) ja Johanna Yliskylä-Peuralahti (esipuhe sekä luvut 1 ja 2). Kaikki tekijät ovat osallistuneet johtopäätösten ja suositusten kirjoittamiseen.

Hankkeen ohjausryhmään kuuluivat Johanna Ikävalko Liikenne- ja viestintäministeriöstä, Elina Saarimaa Puolustusministeriöstä, Jarkko Toivola Liikennevirastosta, Marko Tuominen Rajavartiolaitoksesta ja Ann-Britt Ylinen Ympäristöministeriöstä.

Tekijät kiittävät hankkeen järjestämiin työpajoihin osallistuneita ja haastateltuja asiantuntijoita sekä ohjausryhmää aktiivisesta osallistumisesta ja tuesta hankkeen eri vaiheissa.



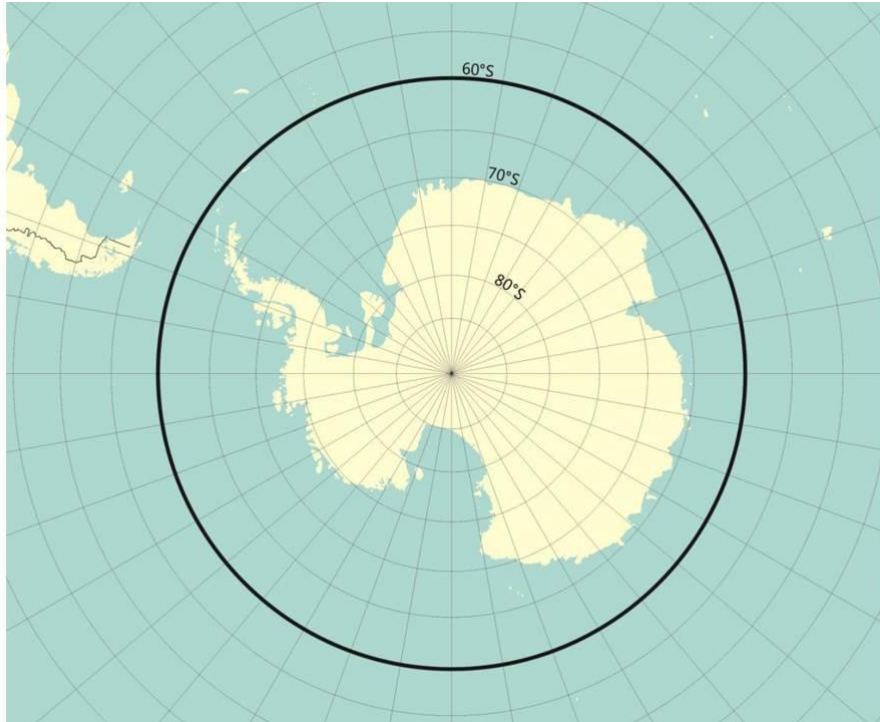
# 1. JOHDANTO

## 1.1 Työn tausta

Merenkulku ja ihmistoiminta arktisilla ja antarktisisilla alueilla ovat lisääntyneet. Merenkulun ennakoitaan edelleen kasvavan polaarialueilla tulevaisuudessa, millä voi olla kauaskantoisia ja vakavia kielteisiä seurauksia näiden alueiden ympäristölle mm. laivaliikenteen päästöjen, merenkulun tarvitseman infrastruktuurin rakentamisen ja mahdollisten onnettomuuksien vuoksi. Polaarialueilla purjehtimiseen liittyy lukuisia riskejä, jotka aiheutuvat mm. kylmistä oloista, merijäästä, jäävuorista ja muusta mannerjäätikköjästä, pitkistä etäisyyksistä, syrjäisestä sijainnista, nopeasti vaihtelevista sääoloista ja puutteellisista merikartoitus- ja jäätiedosta sekä pelastusinfrastruktuurin puuttumisesta. Näistä syistä pohjoisilla arktisilla alueilla ja Etelämannerta ympäröivillä alueilla purjehtivilta lasti- ja matkustaja-aluksilta edellytetään tiukempien turvallisuus- ympäristönsuojelumääräyksiä noudattamista. Nämä määräykset sisältyvät Kansainvälisen merenkulkujärjestö IMO:n vuonna 2015 hyväksymään Polaarikoodiin, joka täydentää merenkulun kansainvälisiä sopimuksia (MARPOL, SOLAS, STCW) polaarialueilla tapahtuvan merenkulun ympäristöhaittojen ja turvallisuusriskien pienentämiseksi.

Polaarikoodin ympäristö- ja meriturvallisuusvaatimukset tulevat voimaan 1.1.2017. Koodiin liittyvät miehistön koulutus- ja pätevyysvaatimukset tulevat todennäköisesti voimaan 1.7.2018. Polaarikoodi koskee kaikkia lasti- ja matkustaja-aluksia, joilla on SOLAS-todistusasiakirja. Alusten miehistön pätevyysvaatimukset eivät suoraan koske viranomais- tai sotaluoksia, tai ei-kaupallista toimintaa harjoittavia aluksia. Näiden alusten miehistöltä voidaan kuitenkin edellyttää vastaavaa pätevyyttä jos se nähdään tarpeelliseksi. Viranomaisalusten miehistöille on monissa maissa, Suomi mukaan lukien, oma koulutusjärjestelmänsä jonka vaatimukset vastaavat ja usein ylittävät siviilialusten miehistöltä vaadittavat pätevyysvaatimukset. Suomessa sotilas- ja viranomaisalusten miehistöistä Polaarikoodiin liittyvät pätevyysvaatimukset voivat vaikuttaa Merivoimien ja Rajavartiolaitoksen koulutukseen.

Polaarikoodi koskee sekä eteläisillä (antarktinen) että pohjoisilla (arktinen) polaarialueilla purjehtivia aluksia. Eteläisellä pallonpuoliskolla Polaarikoodin soveltamisalue rajoittuu kehämäisenä vyöhykkeenä Etelämannerta ympäröivään 60. eteläiseen leveyspiiriin (kuva 1.1). Pohjoisella pallonpuoliskolla Polaarikoodin soveltamisalue rajoittuu Kanadan ja Venäjän aluevesillä 60. pohjoiseen leveyspiiriin. Poikkeuksena on Grönlannin eteläkärjen ja Venäjän Kaniinin niemimaan pohjoiskärjen välinen alue, jossa merta ja ilmastoa lämmittävän Golf-virran vuoksi Polaarikoodin vaikutusalue on rajattu kulkemaan pohjoisempaan (kuva 1.2).



Kuva 1.1 Polaarikoodin soveltamisalue Etelänapamantereen ympärillä. [IMO 2015b]



Kuva 1.2. Polaarikoodin soveltamisalue Pohjoisnavan ympärillä. [IMO 2015b]

Kuten yllä olevasta kuvasta 1.2 näkyy, Pohjois-Atlanti ja Itämeri eivät kuulu Polaarikoodin soveltamisalueeseen, vaikka talviolosuhteet Pohjoisella Itämerellä vastaavat monessa suhteessa polaarialueiden purjehduskelpoisia vesialueita. Suomi on harvoja maita maailmassa, jossa kaikkiin satamiin johtavat väylät voivat jäätä talvisin. Kovina talvina jäänmurtajat avustavat lähes 5000 alusta vuosittain maamme aluevesillä. Jääolosuhteet Polaarialueilla vaihtelevat paljon näiden alueiden sisällä ja eri vuosina. Kuvassa 1.3 on katkoviivalla osoitettu jään reuna arktisella alueella kesäaikaan eri vuosina.



Kuva 1.3. Jään reuna kesäaikaan eri vuosina arktisella alueella.

[<http://www.timesatlas.com/category/Mapping+the+Polar+Regions>]

Useimmat polaarialueilla purjehtivat alukset liikkuvat vain yksivuotisen jään alueella, missä jääolosuhteet vastaavat pohjoista Itämeren talvisin. Suomalainen talvimerenkulkuosaaminen on siten tällaisiin oloihin erittäin sopivaa. Suomalaisia aluksia ja merenkulkijoita on lisäksi liikunnut polaarialueiden vesillä mm. Koillis- ja Luoteisväylillä. Suomi on myös jo vuosien ajan panostanut tutkimukseen Antarktiksella ja meillä on siellä oma tutkimusasema. Polaarikoodin tultua voimaan talvimerenkulkua koskevan ja kylmissä oloissa toimimiseen liittyvän osaamisen kysyntä todennäköisesti kasvaa. Polaarikoodin toimeenpanolla on siksi merkittäviä vaikutuksia Suomessa.

## 1.2 Työn tavoitteet

Polaarikoodin toimeenpano Suomessa edellyttää turvallisuuteen ja ympäristöön liittyvien erityiskysymysten selvittämistä, uusia toimintatapoja sekä usean hallinnonalan toimintojen yhteensovittamista. Tästä syystä viranomaiset Suomessa käynnistivät erillisen selvityshankkeen "Polaarikoodin turvallisuus- ja ympäristövaikutusten yhteensovittaminen Suomessa (POLARCODE)". Hanke toteutettiin 1.9.2015-28.2.2016 välisenä aikana Turun yliopiston Brahea-keskuksen Merenkulkualan koulutus- ja tutkimuskeskuksen (MKK) ja Oulun yliopiston teknillisen tiedekunnan energia ja ympäristötekniikan tutkimusryhmän yhteistyönä osana Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimussuunnitelman 2015 toimeenpanoa ([www.vn.fi/teas](http://www.vn.fi/teas)). Hankkeen rahoitti Valtioneuvoston kanslia.

POLARCODE-hankkeen tavoitteena oli koota yhteen ja tuottaa Polaarikoodin toimeenpanossa tarvittavaa taustatietoa. Tässä raportissa esitetään hankkeen keskeiset tulokset. Raportti on tarkoitettu avuksi Polaarikoodin täytäntöönpanoa valmisteleville päätöksentekijöille.

Erityiskysymyksinä hankkeessa selvitettiin miten Polaarikoodin edellyttämä miehistön pätevyyskoulutus tulisi järjestää Suomessa, missä polaarijääolosuhteissa suomalais-ruotsalaisen jääluokituksen mukaiset alukset voivat turvallisesti liikkua ja miten rajaukset kirjataan aluksen polaariohjekirjaan (Polar Water Operations Manual), mikä on olemassa olevien painolastivesien käsittelymenetelmien ja -laitteistojen toimivuus polaarioloissa sekä mitkä ovat käytettävissä olevat tekniset ja operatiiviset keinot rajoittaa alusten lyhytkestoisia kasvihuonepäästöjä, etenkin mustahiilipäästöjä. Näihin kysymyksiin liittyvää taustatietoa kerättiin erilaisista kirjallisista lähteistä ja haastatteleamalla merenkulun asiantuntijoita. Haastatteluissa selvitettiin eri toimijoiden näkemyksiä liittyen mm. koulutuksen organisointiin ja toteuttajatahoihin, opetusympäristöihin, laitteisiin, auditointiin, lainsäädäntöön, koulutuksen sisältöön, pätevyksien osoittamisen ja arviointiin. Lisäksi merenkulun koulutuksen asiantuntijoilta kysyttiin näkemyksiä suomalaisen arktisen osaamisen koulutusmarkkinoista ja liiketoimintamahdollisuuksista.

Osana hanketta järjestettiin lisäksi kaksi asiantuntijatapaamista, joissa keskusteltiin Polaarikoodin toimeenpanosta. Osallistujilla oli mahdollisuus saada lisätietoa Polaarikoodin vaatimuksista sekä tuoda oma näkemyksensä esille. Turussa 28.10.2015 järjestetyssä asiantuntijatapaamisessa käsiteltiin erityisesti Polaarikoodiin liittyvän miehistön pätevyyskoulutuksen käytännön toteuttamista sekä mahdollisuuksia toteuttaa polaarialueiden merenkulkuun ja näiden alueiden ilmasto-oloissa toimimiseen liittyvää koulutusta koulutusvientinä. Tapaamisessa olivat mukana Trafín, Suomen Varustamojen sekä eri merenkulkuoppilaitosten edustajat. Laajemmassa, Helsingissä 9.12.2015 järjestetyssä työpajassa pohdittiin kolmen eri ryhmän kesken Polaarikoodiin liittyviä jääluokkakysymyksiä, mustahiilipäästöjen torjuntaa sekä painolastivesien käsittelyä ja laitteistojen toimivuutta kylmissä olosuhteissa. Työpajassa oli mukana mm. merenkulun eri viranomaistahoja, laivasuunnittelu- ja laivanrakennusteollisuusyritysten edustajia, varustamon ja laivoja koskevan omaisuushallintapalveluyrityksen edustaja sekä tutkijoita.

## 2. KANSAINVÄLISET SOPIMUKSET

### 2.1 Polaarikoodi

Polaarikoodin (International Code for Ships Operating in Polar Areas, Polar Code) tavoitteena on parantaa meriturvallisuutta ja meriympäristön suojelua arktisilla ja antarktilla vesillä vähentämällä näillä alueilla operoivien alusten riskejä ja päästöjä. Polaarialueilla purjehtimiseen liittyvät riskit aiheutuvat mm. kylmistä oloista, merijäädästä, jäävuorista ja muusta mannerjäätikköjäädästä, pitkistä etäisyyksistä, syrjäisestä sijainnista, nopeasti vaihtelevista sääoloista ja puutteellisista merikartoitus- ja jäätiedosta sekä pelastusinfrastruktuurista. Kaikki nämä tekijät vaikeuttavat alukseen ja sen miehistön pelastustoimia mahdollisen onnettomuuden sattuessa. Arktisten ja antarktisten alueiden ympäristö on erityisen herkkä saastumiselle, mistä syystä meriturvallisuuteen ja laivojen aiheuttamien päästöjen ehkäisy on erityisen tärkeää. Polaarikoodin säännökset on laadittu vähentämään ja ennaltaehkäisemään näitä riskejä sekä laivojen että niiden miehistön osalta. Polaarikoodissa annetaan polaarialueilla purjehtiville aluksille muilla alueilla purjehtivia aluksia tiukempia turvallisuus- ja ympäristömääräyksiä sekä annetaan miehistön koulutusta ja pätevyyskoskevia säännöksiä.

Kansainvälinen merenkulkujärjestö IMO (International Maritime Organization) on toukokuussa 2015 hyväksynyt Polaarikoodin ja se tulee voimaan 1.1.2017 [IMO 2015a]. Polaarikoodi on saatettu voimaan kansainvälistä meriturvallisuutta säätelevään SOLAS-yleissopimukseen (International Convention for the Safety of Life at Sea) ja merellistä ympäristön suojelua ja merten pilaantumisen ehkäisyä koskevaan MARPOL (International Convention for the Prevention of Pollution from Ships) yleissopimukseen tehdyillä lisäyksillä. Lisäksi Polaarikoodiin liittyvät laivojen miehistön pätevyysvaatimukset ovat osa kansainvälistä merenkulkijoiden koulutusta, pätevyyskirjoja ja vahdinpitoa koskevaa STCW (The International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers) yleissopimusta. Polaarikoodiin liittyvät STCW-yleissopimusmuutokset tulevat todennäköisesti voimaan 1.7.2018. Lisäksi koodissa määriteltäviin polaarivesialueisiin rajoittuvat rantavaltiot voivat UNCLOS:in (Yhdistyneitten kansakuntien merioikeusyleissopimus ts. merien perustuslaki) nojalla säännellä meriliikennettä omilla aluevesillään ja antaa aluksille kansainvälisiä sopimuksia tiukempia turvallisuus- ja ympäristövaatimuksia kansallisten säädöstensä kautta.

Polaarikoodi koostuu kahdesta osasta: osa I koskee turvallisuusasioita ja osa II ympäristöasioita. Polaarikoodin turvallisuusmääräykset sisältävät mm. polaarialueilla purjehtivien alusten rakenteita, vakavuutta, vuotovakavuutta, koneistoja, paloturvallisuutta, pelastuslaitteita, navigointilaitteita, radiolaitteita, turvallista operointia sekä miehistön koulutus- ja pätevyysvaatimuksia koskevia säännöksiä [Liikenteen Turvallisuusvirasto Trafi 2015].

Polaarikoodin ympäristömääräykset koostuvat pakollisesta ja vapaaehtoisesta osasta. Koodi kattaa seuraavien yhdisteiden saastumisen estäminen:

- Kappale 1: Öljyn torjunta (vaatii aluksilta mm. rakenteellisia muutoksia tankkeihin)
- Kappale 2: Myrkylliset nesteyhdisteet
- Kappale 3: Haitalliset pakkausaineet
- Kappale 4: Käymäläjätevedet
- Kappale 5: Ruokajätteet ja lastijäännökset



Koodin pakollisessa osassa kielletään öljyn ja öljyisten vesien ja kemikaalien tai niiden seosten päästäminen mereen arktisilla ja antarktisisilla vesillä. Lisäksi rajoitetaan käymäläjättevesien ja kiinteiden jätteiden päästämistä laivoista mereen mannerjään ja jäänreunan läheisyydessä. Tällä viimeksi mainitulla säännöksellä on merkitystä etenkin polaarialueilla liikkuvien matkustaja-alusten kannalta. Vapaaehtoinen osa suosittaa mm. myrkyttömien biohajoavien tai vesipohjaisten voiteluaineiden käyttöä aluksen vedenalaisissa rakenteissa, painolastivesiyleissopimuksen toimeenpanoa ennen sen voimaantuloa ja aluksen rakenteisiin kiinnittyvien kasvustojen (biofouling) minimoimista jääolosuhteissa. **Mustahiilipäästöille ei vielä ole standardia Polaarikoodissa.** Merenkulun päästöt ilmaan sisältyvät MARPOL-sopimuksen Liitteeseen VI, jonka sisältö on esitelty tarkemmin alaluvussa 2.4.

## 2.2 SOLAS

Polaarikoodin turvallisuusmääräykset on saatettu voimaan SOLAS-yleissopimuksen uuden XIV -luvun ("Safety measures for ships operating in polar waters") avulla. Lisäys käsittelee alusten rakenteita, järjestelmiä, alusten turvallista operointia polaariloissa sekä pelastuskalustoa ja toimia onnettomuustilanteessa. Polaarialueilla purjehtivilta aluksilla edellytetään riittävää rungonkestävyyttä ja propulsiokoneiston lujuuutta, jotta ne voivat turvallisesti operoida kylmissä oloissa missä jäätä kertyy aluksen rakenteisiin sekä vesillä, joissa on vaihtelevan vahvuista jäätä. Aluksen laitteistojen toimivuus kylmissä oloissa on varmistettava ja aluksella on oltava riittävä pelastuskalusto ja -laitteistot jotta se mahdollisessa hätätilanteessa pystyy tarvittaessa odottamaan pitkiäkin aikoja pelastajien saapumista. Polaarikoodin SOLAS-sopimusta koskeviin osiin sisältyy mm. ohjeistukset aluksilta vaadittavista rakenteista koskien niiden jäänkestävyyttä, sekä aluksille annettavasta polaariohjekirjasta (Polar Water Operations Manual) ja polaarilaivatodistuskirjasta [Polar Ship Certificate] (IMO 2015b).

Polaariohjekirjan tavoitteena on antaa aluksen omistajalle, sen operoinnista vastaavalle taholle (esim. aluksen rahtaaja), aluksen päällikölle ja miehistölle riittävät tiedot päätöksenteon tueksi siitä missä oloissa tietyllä aluksella voi turvallisesti operoida. Polaariohjekirja ja polaarilaivatodistuskirja esitellään tarkemmin tämän raportin luvussa 4.3.

## 2.3 STCW

STCW-yleissopimuksella säädellään merenkulkijoiden ammattipätevyyttä, sen ylläpitämistä ja merenkulkualan tutkintoihin johtavaa koulutusta alan oppilaitoksissa. Sopimus koskee siten sekä alalla jo toimivia ammattimerenkulkijoita että merenkulkualan koulutusta antavia oppilaitoksia ja niiden opettajia. STCW-yleissopimussäädökset määrittelevät merenkulun perus- ja täydennyskoulutusta antavien opettajien pedagogiset vaatimukset ja myös mm. simulaattorien ja simulaattoriopetuksen vaatimukset. Vain hyväksytyt ja auditoidut merenkulkualan oppilaitokset saavat antaa merenkulkualan tutkinto-opetusta ja STCW-yleissopimuksen mukaisesti lisäpätevyksiin liittyvää koulutusta. Hyväksytyyn koulutukseen perusteella STCW-yleissopimusta valvoja merenkulkuviranomainen voi myöntää ammattimerenkulkijoille kansainvälisesti tunnustetun pätevyyskirjan, jonka perusteella henkilö voi työskennellä laivalla. Samalla hänen pätevyytensä hyväksytään muissa STCW-yleissopimuksen ratifioineissa valtioissa. Varsinaisten pätevyyskirjojen ja säiliöalustolisäpätevyyden tunnustaminen edellyttää kahdenvälistä sopimusta. Polaaripätevyyksien osalta tätä vaatimusta ei kuitenkaan ole suunniteltu.

STCW-yleissopimuksen vaatimukset eivät koske sota- ja viranomaiskäytössä olevien, ei-kaukalliseen käyttöön tarkoitettujen aluksien eikä kalastusaluksien miehistöjä. Monissa STCW-yleissopimuksen hyväksyneissä maissa on rakennettu oma koulutusjärjestelmä puolustus- ja

viranomaisalusten miehistölle. Käytännössä myös näiden alusten miehistöllä on siten joko STCW-yleissopimuksen mukainen tai sen vaatimukset ylittävä pätevyys.

Trafi on Suomessa STCW-yleissopimuksen vastuuviranomainen, joka myöntää sopimuksen mukaiset pätevyudet ja lisäpätevyudet. Trafi vastaa merenkulkijoiden ammattipätevyuden varmistamisesta 5 vuoden välein sekä ylläpitää henkilöpätevyksiä sekä hyväksytyjä koulutusorganisaatioita koskevaa rekisteriä. Merenkulkuoppilaitosten perus- ja täydennyskoulutus auditoidaan, mikä varmistaa STCW-yleissopimuksessa määriteltujen vaatimusten noudattamisen. Auditointi kohdistuu oppilaitokseen ja sen laatujärjestelmään, ei varsinaisesti koulutuksen sisältöön, vaikka sitäkin sivutaankin. Auditoinnit toteuttaa Suomessa Koulutuksen arviointivirasto ja ne suunnitellaan yhteistyössä Trafinkin kanssa.

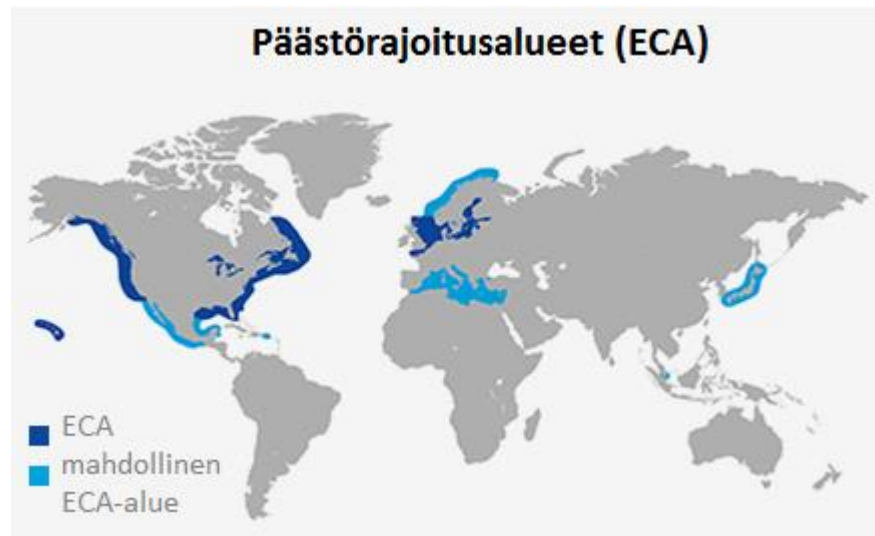
Polaarikoodi edellyttää miehistöltä riittävää osaamista ja pätevyyttä operoida alusta polaarialueiden oloissa. Polaarikoodiin liittyy siksi laivojen miehistöltä vaadittava joko perus- (basic) tai laajempitasoinen (advanced) koulutus, joka sisältää polaarialueilla operointiin liittyvät turvallisuus- ja ympäristöasiat. Polaarikoodin edellyttämä miehistön pätevyyskoulutus on siten jo tutkinnon suorittaneiden ja ammatissa toimivien merenkulkijoiden STCW-yleissopimuksen mukainen lisäpätevyys. Samoin kuin useat muutkin STCW-yleissopimuksen mukaiset lisäpätevyudet, polaarikoodikoulutus on uusittava 5 vuoden välein joko käymällä koulutus uudelleen, tai osoittamalla vaadittava pätevyys riittävällä työkokemuksella. Tätä koulutusta ja pätevyyttä koskevat tarkemmat säännökset, koulutuksen sisältövaatimukset ja pätevyyden osoittaminen on esitetty STCW-yleissopimuksen liitteen ja STCW-koodin muutoksissa. Lisäksi Kansainvälinen merenkulkujärjestö IMO suunnittelee ja toteuttaa yhteistyössä koulutusorganisaatioiden kanssa STCW-yleissopimuksen lisäpätevyyksistä ns. mallikurssit, joita koulutusorganisaatiot sopimuksen ratifioineissa maissa voivat käyttää apuna STCW-yleissopimukseen liittyvien koulutusten suunnittelussa. Polaarikoodia koskevan koulutuksen sisältö ja toteutusvaihtoehdot esitellään tarkemmin tämän raportin luvussa 3.

#### **2.4 MARPOL, Liite VI: Rikkioksidit (SO<sub>x</sub>) ja typenoksidit (NO<sub>x</sub>)**

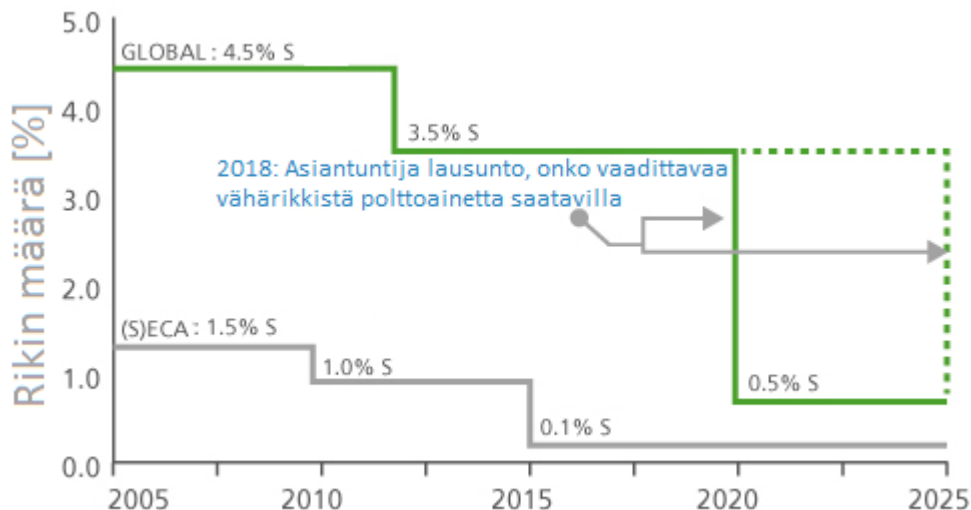
MARPOL-yleissopimuksella pyritään ehkäisemään laivojen aiheuttamaa meriympäristön pilaantumista. Polaarikoodin ympäristömääräykset sisältyvät MARPOL-yleissopimuksen liitteisiin I, II, IV ja V. Näihin liitteisiin tehdyillä lisäyksillä tiukennetaan öljyn ja kemikaalien kuljettamisesta aiheutuvia päästöjä (liitteet I ja II), sekä käymäläjätevesien ja kiinteiden jätteiden mereen päästämistä (liite IV ja V). Koska POLARCODE-hankkeessa keskityttiin tarkastelemaan erityisesti keinoja vähentää alusten lyhytikäisiä ilmastovaikuttavia ilmansaasteita, esitellään MARPOL-sopimuksen liite VI tarkemmin ohessa. Polaarikoodi ei sisällä lisämääräyksiä liitteeseen VI.

Kansainvälinen merenkulkujärjestön (IMO) meriympäristön suojelukomitea hyväksyi SO<sub>x</sub>- ja NO<sub>x</sub>-päästöjä koskevat tiukennetut päästömääräykset MARPOL-yleissopimuksen VI liitteen uudistamisen yhteydessä vuonna 2008. Liite sisältää lisäksi laivojen energiatehokkuusmääräykset, joilla on merkitystä alusten tuottamien CO<sub>2</sub>-päästöjen määrään (ks. luku 6). Päästörajoituksina kielletään otsonia tuhoavien aineiden (CFC ja halonit) sisältävien laitteiden asentaminen laivoihin. Hydroklorofluorihiltä (HCFC) sisältävien laitteiden asennus on sallittu vuoteen 1.1.2020 asti. Satamavaltio voi halutessaan rajoittaa haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (VOC) päästöjä. Päästörajoituksia on myös uusien dieselmootoreiden typen oksidipäästöille, kuten myös rikin oksidipäästöille. Päästörajoja ei ole sen sijaan annettu partikkelipäästöille (PM) [Kämäräinen 2012].

Päästörajoitusalueilla (kuva 2.1) liikkuvan laivan on noudatettava tiukempia päästönormeja. Itämeri on yksi päästörajoitusalueista. Kuvassa 2.2 esitetään rikin oksidipäästöjä koskevat rajoitukset maailmanlaajuisesti sekä päästörajoitusalueilla. Laivapolttoaineen rikkipitoisuus saa Itämerellä olla enintään 0,1 %. [IMO, MARPOL, liite VI, sääntö 14]. Suomessa rikki-päästörajojen noudattamista valvovat Trafi ja Rajavartiolaitos. Laivapolttoaineen rikki-pitoisuuden seuraamiseksi laivoista otetaan polttoainenäytteitä laboratoriomittauksiin. Lisäksi laivojen pakokaasujen laatuja mitataan pakokaasupäästömittarien eli "nuuskijoiden" avulla. Näin voidaan tunnistaa laivat, jotka päästävät ilmaan liikaa rikkidioksidia. [Helsingin Sanomat 2015]. Myös kolme kiinteää mittausasemaa tulee valvomaan laivojen rikki-pitoisuutta [Kaleva 2016]. Itämerellä ei vielä ole pienhiukkasille rajoituksia.



Kuva 2.1 Päästörajoitusalueet (ECA).

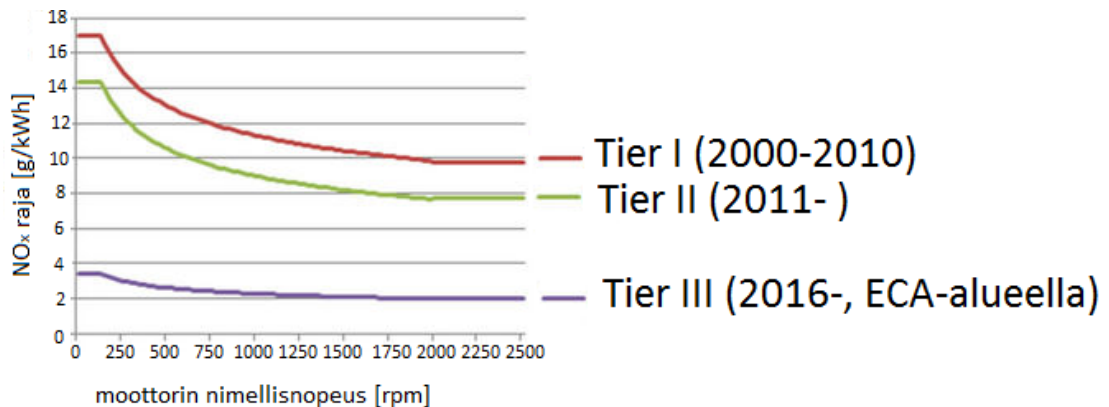


Kuva 2.2 Polttoaineessa olevan rikin määrän [%] muutos vuosien 2005-2025 välillä.

MARPOL-yleissopimus (Liite VI) määrittelee myös päästörajat typenoksideille ( $\text{NO}_x$ ). Tällä hetkellä voimassa on Tier II, jonka vaatimuksena  $\text{NO}_x$ -päästöjen määrä on vähennyttävä 20 % Tier I -tasosta ja riippuen moottorin kierrosluvusta [rpm]. Tier III-taso tulee voimaan Pohjois-Amerikan ja Karibian ECA-alueilla vuonna 2016 koskien uusia aluksia (Kuva 2.3). Muilla ECA-alueilla päästörajat tulevat voimaan vuoteen 2021 mennessä [IMO 2014]. Tier III tason



saavuttaminen vaatii pakokaasun puhdistustekniikoita. Itämeren suojelukomission (HEL-COM) tavoitteena on asettaa Itämeri typenpäästöjen erityistarkkailualueeksi (Nitrogen Emission Control Areas, NECA). Hakemusta IMO:lle ei ole vielä jätetty. [Hernesniemi, 2012]

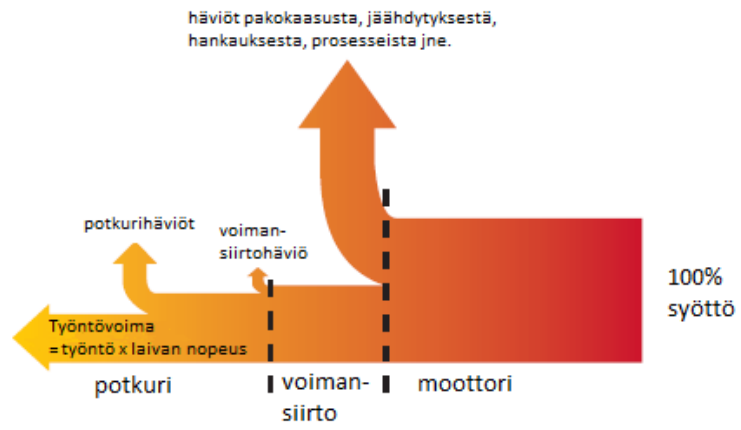


Kuva 2.3 Typen oksidin (NO<sub>x</sub>) rajat [g/kWh] suhteutettuna moottorin nimellisa nopeuteen [rpm].

## 2.5 Energiatohokkuusindeksi (EEDI) ja -suunnitelma (SEEMP)

Laivaliikenteen kasvihuonekaasujen määrä on suuri ja se tulee kasvamaan tulevaisuudessa. **Huoli hiilidioksidipäästöistä ja niiden aiheuttamasta ilmastomuutoksesta on ollut kansainvälisen merenkulkujärjestö IMO:n meriympäristön suojelukomitean kokousten keskustelunaihe useiden vuosien ajan.** IMO meriympäristön suojelukomitea hyväksyi teknisiä ja toiminnallisia toimenpiteitä, jotka koskevat uusia laivoja vuonna 2011. Nämä toimenpiteet ovat **energiatohokkuusindeksi** (Energy Efficiency Design Index, EEDI) ja **laivan energiatohokkuussuunnitelma** (Ship Energy Efficiency Management Plan, SEEMP). EEDI on tarkoitus toteuttaa kolmessa vaiheessa vuosien 2013-2025 aikana. Vuonna 2015 tai sen jälkeen rakennettujen laivojen energiatohokkuus on 10% parempi kuin 2000-luvun ensimmäisellä vuosikymmenellä rakennettujen, vuonna 2020 rakennettujen 20% ja vuonna 2030 laivojen tulee olla 30% energiatohokkaampia [Kirjonen 2013]. IMO:ssa EEDI:n käyttöönottoa on ehdotettu kaikille uusille aluksille kuten öljy- ja kaasutankkereille, kuivaa irtolastia kuljettaville aluksille eli bulkkereille, konttialuksille ja kappaletavara-aluksille (general-cargo ships) jne. [Suomen Varustamot Ry 2011]

Valvontavälineet, kuten **energiatohokkuuden operatiivinen indikaattori** (Energy Efficiency Operational Indicator, EEOI), on kehitelty SEEMP mittaamiseen. EEOI sallii käyttäjänsä mitata laivan polttoaineenkulutusta käytössä ja analysoida käytössä tapahtuvia muutoksia. Esimerkiksi matkareitin suunnittelulla ja laivan potkurin säännöllisellä puhdistuksella voidaan parantaa laivan energiatohokkuutta. EEOI voi olla osa laivan turvallisuutta kokevaa käyttöjärjestelmää (SMS, Ships, Management System). [Kirjonen 2013]



Kuva 2.4 Tyypillisen diesel-laivan energiavirrat [Royal Academy of Engineering 2013]

### 3. STCW-YLEISSOPIMUKSEN MUKAISTEN POLAARIKODIKOULUTUSTEN JÄRJESTÄMINEN

Polaarikoodin edellyttämä miehistön pätevyyskoulutus on ensisijaisesti jo ammatissa toimiville merenkulkijoille annettava, STCW-yleissopimuksen mukainen lisäpätevyys. Polaarikoodin STCW-yleissopimusvaatimusten A-osassa (IMO Circular letter No 3556) on kuvattu yksityiskohtaisesti erityyppisten alusten henkilökunnalta vaadittavan erityiskoulutuksen kriteerit. Kriteerit on kuvattu taulukkomuodossa ja ne jakautuvat seuraaviin osiin:

1. Pätevyys
2. Tieto, ymmärrys ja osaaminen
3. Pätevyyden osoittamiskeinot
4. Pätevyyden arvioinnin perusteet

Pätevyys-osiossa on määritelty kukin näistä osaamisaloista ja kuvattu siihen liittyvät osaamisvaatimukset, pätevyden osoittamiskeinot ja pätevyden arvioinnin perusteet. Pätevyys on jaettu seuraaviin osiin, joilla kullakin on omat tiedollista ja käytännön osaamista koskevat sisältövaatimukset:

- Polaarialueilla liikkuvien alusten operoinnin turvallisuuteen liittyvät asiat
- Lainmukaisuuden valvonta ja varmistaminen
- Turvallisten työskentelykäytäntöjen noudattaminen ja hätätilanteisiin reagoiminen
- Meriympäristön pilaantumisen ehkäisyä koskevien sääntöjen noudattamisen varmistaminen ja ympäristönvahinkojen ennaltaehkäisy
- Polaarivesille suuntatuvan matkan suunnittelu ja toteutus
- Polaarivesillä liikkuvien alusten turvallinen operointi
- Aluksen miehistön ja matkustajien turvallisuuden ylläpitäminen ja hengenpelastuksen, tulipalon sammutuksen ja muiden turvallisuusjärjestelmien toimintakuntoisuuden ylläpito.

Edellä mainittuja osaamisaloja koskeva pätevyys voidaan osoittaa seuraavin keinoin:

1. Hyväksytty meripalveluskokemus
2. Hyväksytty koulutus, aluskokemus
3. Hyväksytty simulaattorikoulutus soveltuvilta osin
4. Hyväksytty koulutusohjelman suorittaminen

Simulaattorikoulutus tulee olemaan käytännössä yksi keskeinen pätevyden osoittamiskeino, varsinkin jos Polaarikoodin mukaisen palvelus- ja aluskokemuksen todentaminen ja arviointi-

perusteiden määrittely osoittautuu hankalaksi ja todellisia olosuhteita vastaavaa koulutusympäristöä on muuten vaikea toteuttaa.

## 3.2 Merenkulkualan täydenniskoulutustarjonta Suomessa

### 3.2.1 Nykytila

Suomessa on tällä hetkellä 11 merenkulun ammatillista koulutusta antava oppilaitosta.

Etelä-Kymenlaakson ammattiopisto (EKAMI)  
Kymenlaakson ammattikorkeakoulu  
Meriturva - Merenkulun turvallisuuskoulutuskeskus  
Länsirannikon koulutus WinNova Oy  
Satakunnan ammattikorkeakoulu  
Yrkeshögskolan Novia / Aboa Mare/Axxell Utbildning Ab  
Högskolan på Åland  
Maritime Safety Center - Ålands sjösäkerhetscentrum  
Ålands Gymnasium (Ålands Sjömansskola)  
Merisotakoulu  
Rajavartiolaitos: Raja- ja merivartiokoulu

Tutkintokoulutuksen lisäksi useimmat näistä oppilaitoksista tarjoavat merenkulkualan ammatillista täydenniskoulutusta joko kaikille avoimena tai asiakkaan tarpeiden mukaan räätälöitynä.

Merisotakoulu ja Rajavartiolaitoksen ylläpitämä Raja- ja merivartiokoulu antavat puolustus- ja rajavartiotehtävissä tarvittavaa erikoiskoulutusta. Merisotakoulu on merenkulkuoppilaitosten tavoin STCW-säätelyn alainen ja pyrkii noudattamaan mahdollisimman pitkälle STCW-yleissopimuksen määräyksiä.

Aboa Mare, Aker Arctic, Arctia Ice Breaking, Deltamarin, Meriturva, DNVGL, Ice Advisors ja Kymenlaakson ammattikorkeakoulu ovat jo pitkään järjestäneet IceTrain -tuotenimellä markkinoitua, kolme päivää kestävä koulutusta jäissä operoivien alusten päällystölle. Koulutuksen maantieteellinen kohdealue on ollut lähinnä Itämerellä liikkuvat alukset ja niiden päällystöt. Alla on kuvaus koulutuksen sisällöstä.

#### **IceTrain koulutus**

- 3 päivän kurssi päällystölle, joka tarvitsee koulutusta jäissä operointiin

- pääpaino jäänavigoinnissa sekä simulaattoriharjoittelussa, lisäksi tutustutaan jäänmurtaja- operointiin sekä jäänmurtaja-avustukseen, johtamiseen, lainsäädäntöön, lastin käsittelyyn, jään muodostuksen vaikutuksiin sekä jään muodostumisen nopeuteen, jääpalveluihin sekä selviytymis- ja työturvallisuusasioihin

- jäänavigointi, keskeinen tieto turvalliseen operointiin polaarivesillä

- simulaattoriharjoitukset, valinnainen moduuli tutustuminen jäänmurtajan toimintaan Arctia Icebraking Oy jäänmurtajalla tai harjoitteluala Katarinalla

- tarjolla myös valinnainen hypotermia ja kylmässä selviämisen moduulit sekä ekskursion Aker Arctikin testiallaslaboratorioon

- todistuksena DNVGL:n Ice Navigation sertifikaatti

### **Merikoulujen täydennyskoulutustarjontaa 2015 oppilaitosten verkkosivuilla olevien tietojen mukaan**

Novia ammattikorkeakoulu /Aboa Mare, Turku:

Nautiset kurssit

- Luotsikurssit
- Dynamic Positioning-kurssit
- Sairaanhoidon kurssit
- Ympäristökurssit
- Ice Navigation kurssit
- GMDSS-kurssit
- Vessel Traffic Services (VTS)
- Resource Management-kurssit
- SAR-kurssit
- Cargo management-kurssit
- Kotimaanliikenteen kurssit
- Training Needs Analysis (TNA) k-kurssit
- Pätevyyskirjojen uusiminen

Kotka Maritime Center, Kymenlaakson ammattikorkeakoulu/Etelä-Kymenlaakson ammattiopisto:

- Ölly-, kemikaali- ja kaasualusten turvallisuuskoulutukset
- Radiokoulutukset
- Navigointikoulutukset (ARPA-tutkakoulutus, ECDIS-karttajärjestelmä)
- ISPS/SSO ja turvatoimikoulutukset
- Turvallisuuskoulutukset
- Kotimaanliikenteen koulutukset
- Terveystieteiden koulutukset
- Muut merenkulun koulutukset
- Satama-alan koulutukset

Länsirannikon koulutus WinNova Oy / SAMK, Rauma:

Aluksen turvapäällikkökoulutus

- Crowd and Crisis Management
- ECDIS-koulutus (STCW)
- Matruusi
- Merenkulku Basic Training
- GOC/ROC kertauskoulutus
- Vahtimies kansi/kone

Merenkulkualan perustutkinto  
OTTP Öljysäiliöalusten ja CTTP Kemikaalisäiliöalusten turvallisuuskoulutus  
Vahtikonemestari päivityskoulutus  
Turvatoimiasioiden lisäkoulutus

Vuonna 2014 WinNova ja SAMK tekivät yhteistyösopimuksen merenkulun oppimisympäristöjen kehittämiseksi. Yhteistyösopimus sisältää simulaattorien käytön arktisen merenkulun tarpeisiin.

## **ArcMaTe**

Arktinen merellinen testaus-, opetus- ja tutkimuskeskus (Arctic Marine Testing, Training and Research Center - ArcMaTe) on Liikenne ja viestintäministeriön koordinoima kansainvälinen verkostohanke, jonka tavoitteena on kehittää koordinoitua kansainvälistä arktista merellistä osaamista ja suomalaisen osaamisen viientä. Keskukseen perustaminen sisältyy Suomen vuoden 2013 arktiseen strategiaan ja vuoden 2015 hallitusohjelmaan.

Keskukseen perustamista varten on tehty erillinen esiselvitys vuonna 2015. Suunnitelmien mukaan osaamiskeskuksessa olisi mahdollisuus harjoitella turvallista ja ympäristöystävällistä talvimerenkulkua, pelastustoimintaa, viestintää sekä öljy- ja kemikaalivahinkojen torjuntaa. Lisäksi osaamiskeskuksen on tarkoitus tarjota koulutusta, konsultointia ja tutkimuspalveluja. Kohderyhminä olisivat erityisesti viranomaiset, varustamot, laitevalmistajat, vakuutus-, öljy- ja kaasuyhtiöt, koulutus- ja tutkimuslaitokset sekä kemianteollisuus.

### **3.2.2 Tilat ja laitteet**

Alla on kuvattu merenkulkualan koulutusorganisaatioiden simulaattorilaitteistot oppilaitosten syksyllä 2015 verkkosivuilla antamien tietojen mukaisesti.

#### **Novia, Aboa Mare:**

Aboa Mare:n simulaattoriyksiköt tarjoavat merenkulun turvallisuuteen ja ympäristön liittyvää merenkulun koulutusta opiskelijoille, varustamoille ja eri viranomaisille. Koulutuksessa käytettävät alusmallit ovat esimerkiksi isoja risteilijöitä, tankkialuksia ja saaristossa liikkuvia pienaluksia. Harjoitusalueina käytetään Suomen rannikon ja sisävesien väyliä sekä maailman vilkkaimpia laivaliikennealueita.

Aboa Mare:lla on 10 simulaattorikomentosiltaa, konehuonesimulaattoreita, VTS-simulaattori, Navis DP-simulaattori sekä radiosimulaattori. Opetushenkilöstöön kuuluu 40 simulaattoriohjaajaa, joilla on merenkulun kokemus. Simulaattoreissa voidaan antaa CONSILIUM-, FU-RUNO-, SAM Electronics-, SPERRY- ja TRANSAS-komentosiltojen koulutusta. Alussimulaattorit sijaitsevat Turussa, Espoossa sekä Subic Bayssa Filippiineillä.

Aboa Maren simulaattorikoulutuksen tavoitteena on:

- aluksen käsittelyyn, saatto- ja hinaustoimintoihin perehdyttäminen simulaattoriympäristössä

- erilaisiin komentosilta- ja konehuonelaiteympäristöihin perehdyttäminen sekä syventävä laiteympäristökoulutus simulaattoriympäristössä
- luotseille ja linjaluotseille annettava syvennetty väylätuntemus
- tukea ja kouluttaa yhtenäisiä organisaatiokohtaisia toimintatapoja meripelastuksen ja ympäristönsuojelun vapaaehtoisvoimille ja viranomaisille, sekä antaa heille toimintaan liittyvää laitekoulutusta simulaattoriympäristössä

Aboa Marella on käynnissä WinMos-hanke, jonka puitteissa suunnitellaan kaupallista jäänavigointikurssia sekä jäänmurtaajapäällystölle tarkoitettua kurssia. Polaarikoodioperaatioiden puolella koulutuksen aiheena ovat jään vahvuuden tunnistamiseen liittyviä menetelmät. Aboa Mare on mukana myös ICETRAIN- konsortiossa joka järjestää Itämeren olosuhteisiin suunniteltuja talvimerenkulun koulutuspaketteja. ICETRAIN on kansipäällystölle suunnattu koulutus, joka tarjoaa miehistölle tilaisuuden harjoitella aluksen ohjaamista jäissä sekä antaa tietoa hyvin kylmässä ilmastossa ja vaihtelevissa jääoloissa toimimisesta. ICETRAIN-kurssit voidaan räätälöidä siten, että ne sisältävät valinnaisia osioita. Näitä ovat esimerkiksi eloonjäämiskoulutus kylmässä vedessä, toimintojen seuraaminen jäänmurtaajan kannelta tai mahdollisuus kokeilla pienoismallitestausta jääaltaassa. Kurssin hyväksytysti suorittaneet saavat todistuksen Germanischer Lloydilta.

Toinen, LNG-puolelle tarkoitettu koulutuskokonaisuus on ECOTRAIN. ECOTRAIN-kurssin tarkoituksena on perehdyttää osallistujat IMO:n energiatehokkaita laivatoimintoja koskeviin säädöksiin. Myös aluksen ja koneistojen muotoilua koskeviin seikkoihin kiinnitetään huomiota. ECOTRAIN-kurssilla tutustutaan myös energiatehokkaisiin käyttötapoihin ja apuvälineisiin. Lisäksi kokonaisvaltaiset harjoitukset Aboa Maren simulaattorikeskuksessa tarjoavat osallistujalle käytännön tietoa aluksen energiatehokkaasta käytöstä.

Keskeinen osa Polaarikoodin edellyttämiä jääsimulaattorikoulutuksia tulee Aboa Maressa olemaan Aker Arcticin kanssa käynnissä oleva yhteistyö Aker Arctic Ice Simulator -konseptin ympärillä, johon ollaan kehittämässä uusia ominaisuuksia yhteistyössä Aboa Maren, Aker Arctic Oy:n, ja Imagesoft Oy:n kanssa. Varsinaiseen yhteistyökonsortioon jääsimulaattorikoulutusten kehittämisessä kuuluvat edellisten lisäksi FinnPilot Pilotage Oy, Arctia Ice Breaking Oy, Ice Advisors Ltd ja Navidom Oy. Lisäksi Aboa Mare tekee yhteistyötä ruotsalaisten toimijoiden kanssa IBS-simulaattorijärjestelmän kanssa.

Keskeisenä toiminta-ajatuksena Aboa Maressa on tarjota olemassa olevista koulutuspaketeista räätälöityjä kokonaisuuksia asiakkaiden tarpeiden mukaisesti. STCW-vaatimukset täyttävä polaarikoodikoulutus tullaan rakentamaan täydentämällä ja kehittämällä jo olemassa olevia koulutuspaketteja ja vahvistamalla jääsimulaattorin käyttöä. Aboa Marella on valmius tarjota STCW-sopimuksen mukaisia polaarikoodikoulutuksia niistä kiinnostuneille varustamoille ja muilla asiakasryhmille todennäköisesti heti sopimusmuutosten astuessa voimaan. Oppilaitos on tällä hetkellä tiiviissä yhteistyössä muiden arktisen merenkulun toimijoiden kanssa mm. Arctic Waypoint Finland -konseptin alla.

### **Kymenlaakson ammattikorkeakoulu/Etelä-Kymenlaakson ammattiopisto EKAMI:**

Kymenlaakson ammattikorkeakoulu ja Etelä-Kymenlaakson ammattiopisto ovat perustaneet Kotka Maritime Centerin markkinoimaan ja toteuttamaan merenkulun- ja satamatoimintojen

koulutusta. Perustetussa simulaattorikeskukseen on koottu näiden kahden oppilaitoksen simulaattorilaitteet. Oppilaitoksilla on lisäksi käytössään koulutusalaus Katariina Kotkassa

Kotka Maritime Centerin navigointisimulaattorissa on kymmenen komentosiltaa, joista kahdessa on aidon laivan komentosilalaitteistot ja isot visuaalinäytöt. Valittavissa on laivatyyppinä pienestä veneestä suureen tankkialukseen. Harjoitusalueina ovat Suomenlahden rannikon laivaväylät ja useita ulkomaisia väyläalueita kuten Englannin kanaali sekä Gibraltarin ja Tanskan salmet. Lisäksi käytettävissä on kolmen valmistajan tutkamallit, elektroninen merikarttajärjestelmä ECDIS ja meriliikenteen ohjaussimulaattori (VTS).

Konehuonesimulaattori koostuu kahdeksasta työasemasta. Aluksen konehuoneen kaikki toiminnot on simuloitu. Simulaattorissa voi valita hidaskäyntisen, raskaalla polttoöljyllä käyvän koneen tai keskinopean dieselmoottorin.

Lastinkäsittelysimulaattorissa on kahdeksan työasemaa, joissa on myös Onboard-NAPA -järjestelmä. Sillä voidaan simuloida eri laivatyyppien - mukaan lukien tankkialukset - lastiopeeraatioita ja vuotovakavuutta. Lisäksi simulaattorissa on vaarallisten aineiden merikuljetuksiin liittyvä ohjelmisto. Nestelastisatamien laivaterminaalitoimintoja simuloiva ohjelmisto on neljällä työasemalla sekä Pisces -ohjelmisto öljyntorjunnan suunnittelutoimintoihin yhdellä työasemalla.

GMDSS -simulaattori koostuu kahdeksasta työasemasta, joissa on radiokoulutuksiin soveltuvat ohjelmistot. Simulaattori on tarkoitettu koulutukseen ja tutkinnonpitoon sellaisten alusten kansipäällystöille, jotka tarvitsevat General Operator's Certificate (GOC) tai Restricted Operator's Certificate (ROC) -pätevyyden aluksen radioaseman hoitamiseen. Lisäksi simulaattoria voi käyttää etsintä- ja pelastusoperaatioiden (SAR) harjoitteluun sekä VTS -operaattorikoulutukseen. Simulaattorissa on aidon laivaradiolaitteiston kanssa yhteensopiva SAILOR 5000 -laitteisto. Lisäksi on mahdollista käyttää SAILOR Compact 2000, SAILOR System 4000, VHF & DSC FURUNO FM-8800S -radiolaitteistoja.

### **Länsirannikon koulutus WinNova Oy / Satakunnan ammattikorkeakoulu (SAMK):**

Vuonna 2014 WinNova ja SAMK tekivät yhteistyösopimuksen, jonka puitteissa kehitetään merenkulun oppimisympäristöjä sisältäen simulaattorit arktisen merenkulun tarpeisiin. SAMK:in simulaattorikeskuksen on tarkoitus olla käytössä elo-syyskuussa 2016. Simulaattorilaitteiden etäkäyttö on mahdollista.

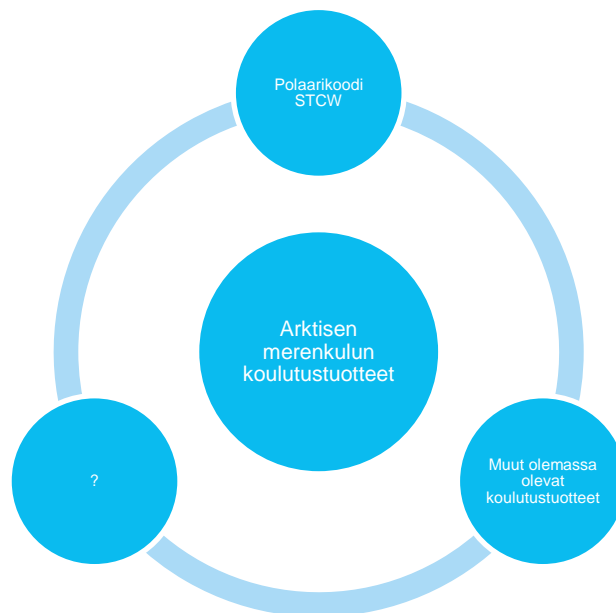
### **3.2.3 Yhteistyö**

Merikoulut tekevät jo nyt yhteistyötä alan koulutuksen ympärillä. Koulut ovat valmiita keskustelemaan mm. STCW-sopimuksen mukaisten Polaarikoodikoulutusten koordinoituyhteistyöstä, jotta vältetään päällekkäiseltä toiminnalta ja resurssien käytöltä. Tehtyjen haastattelujen perusteella parhaat mahdollisuudet polaarikoulutusten järjestämiseen ovat Turussa (Aboa Mare/Novia) ja Kotkassa (Maritime Center, KYAMK, EKAMI), joissa on jo olemassa tarvittavia opetusympäristöjä ja laitteita sekä henkilökuntaa. Merikoulut ovat valmiita yhteistyöhön koulutusten toteuttamisessa.



Merenkulualan koulutusjärjestäjiä on Suomessa paljon ja ne kilpailevat osittain keskenään. Tehokkaan resurssien käytön kannalta täydennyskoulutustoiminnot olisi suositeltavaa keskittää yhteisen organisaation alle ja toiminnan pitäisi olla vahvemmin johdettua. Koordinointia voisi hyödyntää esimerkiksi tarvittavien laitteiden ja harjoittelupaikka-asioiden tehokkaassa järjestämisessä. Opetushallitus tai vastaava organisaatio voisi mahdollisesti olla sopiva koordinoiva taho. Mikäli ohjausta ei tule korkeammalta tasolta, vaarana on resurssien hajaantuminen.

Suomessa on talvimerenkulkuun ja polaarioloissa toimimiseen liittyvää osaamista, jolla on kysyntää kansainvälisesti. Mikäli tätä suomalaista koulutusta halutaan markkinoida kansainvälisille markkinoille, tulisi luoda yhteinen brändi ja koulutuskokonaisuus. Koulutuskokonaisuuden toteuttajina olisivat kaikki yhteistyöstä kiinnostuneet talvimerenkulun koulutuksen tuottajat (ks. kuva 3.1 alla). Myös Polaarikoodiin liittyvä miehistön pätevyitysmkoulutus voisi olla osa tätä suurempaa Suomen talvimerenkulun osaamisen tuoteperhettä tai -brändiä. Monilla merenkulun koulutusta antavalla organisaatiolla on omia tuotteita valmiina. Kysymys on ennen kaikkea siitä miten halukkaita he ovat tekemään koulutusyhteistyötä.



Kuva 3.1. Suomen arktisen merenkulun koulutustuotteet. [Risto Rova]

Kansainvälisille osallistujille tarjottava koulutus voidaan organisoida esimerkiksi EU:n Pooling & Sharing -aloitteen mukaisesti. Tällainen yhteistyö voisi sopia Polaarikoulutusten toteutusmuodoksi erityisesti viranomaisalusten miehistöjen koulutuksiin. ArcMaTe:n kautta koulutusta voitaisiin tarjota yhteistyössä esimerkiksi Norjan kanssa. Tämän kaltaisen kansainvälisen yhteistyön käynnistäminen edellyttää kansallisen tason strategista päätöstä.

### 3.3. STCW-yleissopimuksen mukaisten Polaarikoodikoulutusten organisointi

Polaarikoulutus soveltuu parhaiten lisä- ja täydennyskoulutukseksi, erillään merenkulun tutkintokoulutuksesta. Näin perusopetuksen toteutussuunnitelmat eivät kuormitu liikaa. Opetushallinnon puolesta ei ole esteitä sisällyttää Polaarikoodin vaatimuksia uusiin tutkintovaatimuksiin, edellyttäen että oppilaitokset pystyvät koulutuksen toteuttamaan. Opetuslaitteiden käytön kannalta olisi järkevää sisällyttää Polaarikoodivaatimukset uusiin tutkintovaatimuksiin. Tällöin jäänavigointisimulaattorikanta palvelisi sekä perus- että täydentävää koulutusta ja laitteiden käyttöaste saataisiin korkeammaksi. Toisaalta olisi mietittävä kannattaako Suomessa merikoulujen investoida useisiin kalliisiin jääsimulaattoreihin, jos niiden käyttöaste jää käytännössä kovin alhaiseksi. Merikoulut voivat itse päättää mahdollista yhteistyöjärjestelyistä simulaattorien ja muun opetuskaluston käytössä sekä Polaarikoodin mukaisten koulutusten järjestämisessä.

Haastattelun varustamon mukaan tulevien koulutusten tulisi olla osallistujan kannalta helppoja ja joustavia. Koulutusten tulisi olla osa normaalia kertauskoulutusta tai vastaavaa toistuvaa koulutusta. Trafilta ja merikouluilta odotetaan aktiivista otetta Polaarikoodia koskevien koulutusten tiedotuksessa ja järjestelyissä.

Polaarikoodin edellyttämän koulutuksen sisällön osalta haastatteluissa tuli esille, että varsinkin nuorten merenkulkijoiden aluskokemuksen hankinnassa voisi hyödyntää Suomen Varustamot ry:n ja merenkulkualan oppilaitosten yhteistyössä vuonna 2012 käynnistämää HarjoitteluMylly-konseptia. HarjoitteluMyllyn tavoitteena on koordinoida ja jakaa Suomen kauppalaivaston harjoittelupaikat mahdollisimman tasapuolisesti merenkulkualan oppilaitoksille ja niiden opiskelijoille. Myös mahdollisuudesta toteuttaa Polaarikoodiin liittyvää alusharjoittelua Suomen jäänmurtaja-aluksilla kannattaisi keskustella. Merisotakoulu toimii yhteistoiminnassa talvimerenkulun opetuksessa Arctia Ice Breakingin kanssa.

#### Auditointi

Koulutuksen arviointivirasto KARVI järjestää yhteistyössä Trafín kanssa oppilaitoksia koskevan riippumattoman arvioinnin viiden vuoden välein. Trafi raportoi arvioinnin tulokset EU:n komissiolle ja IMO:lle. Nykyistä STCW-yleissopimuksen mukaista auditointimenettelyä luonnehdittiin yhdessä haastattelussa hieman vanhanaikaiseksi ja raskaaksi järjestelmäksi, joka ei ole tarpeeksi joustava. Suomessa tuottaa lisäongelman se, että merenkulkuhallinto ei hallinnoi koulutuksia.

Trafín nykyistä paremmista mahdollisuuksista valvoa ammattikorkeakoulututkintojen sisältöä otetaan kantaa laivaväkeä ja aluksen turvallisuusjohtamista koskevaa lakia uudistettaessa. Lakia uudistettaessa todennäköisesti käsitellään myös Trafín oikeutta valvoa sellaisten koulutusten sisältöä, joiden nojalla laivojen miehistölle myönnetään pätevyyskatsia.

### 3.4 Pätevyyden osoittaminen ja arviointi

Merenkulun asiantuntijat pitävät Polaarikoodin edellyttämän pätevyyden osoittamista riittävän meripalvelukokemuksen avulla hankalana kysymyksenä. Haastatellut asiantuntijat korostavat, että pätevyyden vaihtoehtoisten osoittamiskeinojen tulisi mahdollisuuksien mukaan täydentää toisiaan. Mikäli esimerkiksi aluskokemus ei riitä kokoaan täyttämään vaadittua pätevyyttä, niin sitä voitaisiin täydentää simulaattoriosalla. STCW-yleissopimuksen mukaisesti vaadittavaa työkokemusta ei voida kokonaan korvata simulaattorilla. "Equivalent Arrangement" -järjestelyn kautta voidaan kuitenkin perustelluista syistä korvata osan meripalvelusta. Tämä edellyttää järjestelyiden tarkkaa raportointia ja perustelua IMO:lle, joka lähettää tiedot kaikille STCW-yleissopimusvaltioille tiedoksi.

Toimiva järjestely pätevyyden osoittamiseksi voisi esimerkiksi olla offshore-aluksilla käytössä oleva järjestelmä, jossa henkilön harjoituskirjaan tulee leima aina kun hän on hoitanut tietyn tyyppisen tehtävän. Aluksen päällikkö hyväksyy ja varmentaa kokemuksen allekirjoituksellaan. Haastatteluissa todettiin, että työkokemuksen arvioinnin kriteerinä miehistön osalta toimisi ehkä parhaiten meripalvelutodistus, jossa olisi työnantaja toimesta merkittynä toimialue ja ajankohta, jossa palvelu on suoritettu. Arviointikäytännöt ja koulutusten toteutus olisi hyvä olla osa aivan normaalia koulutuskäytäntöä, ei mitään erillistä kokonaisuutta, johon on erikseen osallistuttava.

Haastattelujen perusteella jäänavigointikokemus on ainoa meripalvelukokemus, joka voitaisiin sellaisenaan hyväksyä Polaarikoodiin liittyvien STCW-yleissopimusvaatimusten mukaisesti kokemukseksi. Kokemuksen todentaminen on kuitenkin ongelmallista. Eräs pohdintaa herättänyt asia on, tulisiko polaarialueilla purjehtineilta vaatia kurssin suorittamista. Lisäpätevyydestä tullaan heiltä joka tapauksessa vaatimaan. Jäänavigointikokemuksen arviointi tulisi olla tasapuolista. Yksinkertaisena vaihtoehtona haastatteluissa tuli esiin, että jos alus on esimerkiksi ollut Itämerellä 59. leveyspiirin pohjoispuolella jäänmurtokauden aikana, niin tämä aluspalvelukokemus voisi muodostaa eräänlaisen pohjan arvioinnille. Miten todistetaan että alus on todella ollut kyseisessä paikassa? Luotetaanko esimerkiksi päällikön tai vastaavan todistukseen? Mistä siinä tapauksessa tiedetään varmasti, että kyseessä oleva henkilö on ollut aluksella silloin kun alus on ollut tuolla alueella?

Polaarialueiden vesillä liikkuvalla aluksella toimimiseen oikeuttavan perustason pätevyyden saa koulutukseen osallistumalla. Osassa aluksia ei tarvita muuta kuin peruskurssi (basic-taso). Kurssin käymisen jälkeen voidaan pitää harjoittelukirjaa riittävän kokemuksen osoittamiseksi ylempää pätevyydestä varten. Haastatteluissa tuli esille, että käytännön järjestelyjä ei ole IMO:ssa ajateltu aivan loppuun saakka. Ylempitasoisen (advanced) pätevyyden praktiikkavaatimuksia tulisi tarkentaa. Määräyksiä selkeyttäisi vaatimus ohjatusta harjoittelusta ja mahdollisuudesta korvata se jollakin muulla järjestelyllä. On mahdollista, että tulevis- sa STCW-yleissopimusta koskevissa kokouksissa (MSC\_96 ja MSC\_97) voi tulla asiaa koskevia tarkentavia ehdotuksia, jos ongelmaa on pohdittu Suomen lisäksi muissakin maissa.

Haastatteluissa tuli esille, että pätevyyden osoittamiskeinojen osalta tulisi määritellä ensin, mikä on kelvollista kokemusta. Jos hakija esittää, että hänellä on kokemusta tietyltä alueelta tietynä aikana vuodesta, ICE-tiedon avulla tämä tieto voidaan varmentaa. ICE-tieto kertoo kaikista merkittävän kokoisista aluksista missä ne ovat liikkuneet. Erilaisia datalähteitä, kuten esimerkiksi ICE-tietoja ja merimiesrekisterin palveluaikatietoja yhdistämällä ja alusten MMSI-numeroita hyväksikäyttäen voidaan osoittaa millä alueilla ko. henkilö on liikkunut. Kun tähän yhdistetään esimerkiksi Ilmatieteen laitoksen jäätietoa, pitäisi saada jonkinlainen käsitys myös henkilön jääkokemuksesta. Mahdollinen ratkaisu polaaripätevyksien haun yksinker-

taistamiseksi olisi, että henkilö täyttää verkossa polaaripätevyyshakemuksen jossa hän itse määrittelee kokemuksensa. Hän voisi hakemuksessa ilmoittaa palvelleensa tietyllä aluksella tietyssä aikana. Järjestelmä voisi yhdistää henkilön antamat tiedot henkilötiedot, ajan, laivan MMSI-tunnuksen, ICE-tietokannan, Ilmatieteen laitoksen jäätiedot mahdollisten muiden järjestelmien tietoihin ja antaa arvion miten pitkän ajan kyseinen alus on tietyllä alueilla liikkunut.

Advanced-tasolla vaadittavan kokemuksen osoittaminen on oma ongelmansa. Mitä kokemus sisältää ja mitkä taidot vaaditaan? Opittiinko vaaditut taidot ja millä taitojen saavuttaminen voidaan todentaa? Haastatteluissa tuli esille, että tällä hetkellä ollaan keskiarvoisessa menettelmässä ja standardeja osaamisen arviointiin ei ole. Siirtymävaiheessa on tarkoituksenmukaista hyväksyä kokemuspohjaisesti pätevyyskysymyksiä, koska muuten liikenteen sujuminen voi häiriintyä. Uusille toimijoille, joilla ei ole kokemusta näytettäväksi, koulutusvaihtoehto on ensisijainen. Koulutus tulisi olla tässä tapauksessa laadittu siten, että sillä saavutetaan riittävä taso.

STWC-yleissopimuksen mukaiset pätevyudet myöntää pääsääntöisesti sen maan viranomainen, jossa koulutus on suoritettu. Vaatimus on, että pätevyuden myöntää se sopimusosapuoli, joka on hyväksynyt kyseisen koulutuksen ja valvoo sitä. Mikäli ulkomaisessa laivassa palvelut henkilö joka ei ole Suomen kansalainen käy kurssin Suomessa, Suomi myöntää lisäpätevyystodistuksen. Henkilön on myös jatkossa käytävä uusimassa tämä koulutus Suomessa. Tämä on Trafian kannalta hankalin asia, ja se koskee lähinnä ylempään tason pätevyyskysymyksiä. Yksinkertainen järjestely voisi olla, että Trafi hyväksyisi vain ylempään pätevyysasteeseen liittyvät haastukset joihin tarvitaan 2kk kokemusta. Trafi hyväksyisi muutoin vain koulutuksen kautta tapahtuvan uusimisen. Perustaso ei ole samalla tavalla ongelma eikä lisäpätevyystodistukseen, koska ne kelpaavat ulkomaisilla laivoilla, vaikka ovat Suomen hallinnon myöntämiä. On myös teoriassa mahdollista, että jonkin maan hallinto voisi uusia lisäpätevyystodistuksen niin, että se antaisi oman valtion lisäpätevyystodistuksen. Tällöin tuon maan merenkulkuviranomaiset kävisivät auditoimassa koulutuksen Suomessa ja integroisivat sen omaan pätevyyskirjajärjestelmäänsä. Näin tämä valtio pystyisi myöntämään pätevyuden ulkomaisesta koulutuksesta. Menettely edellyttää, että eri maiden hallinnot toimisivat aktiivisessa yhteistyössä koulutusten järjestäjien kanssa.

Siirtymäaikana (kaksi vuotta voimaantulosta) voitaisiin hyväksyä STCW-koodin B-osan mukainen koulutus, jota on Suomessa jo järjestettykin. Sama vaatimus koskee kokemuksen perusteella lisäpätevyuden myöntämistä. Tämän hyväksyntäprosessin käytännön toteutus on vielä auki. Jos koulutusta koskeva lainsäädäntö saatetaan Suomessa etupainotteisesti voimaan, koulutus ja meripalvelu voitaisiin hyväksyä ja lisäpätevyyskysymyksiä myöntää aikaisemmin.

#### Jääluotsit

Polaarikoodissa on mainittu ns. jääluotsien käyttö aluksilla. Samoin kuin muutkin luotsit, jääluotsit avustavat aluksen päällikköä ja miehistöä navigoinnissa. Jääluotsien käytön tarkoituksena on varmistaa, että Polaarialueilla liikkuviin aluksiin voidaan ulkopuolisen luotsin avulla tuoda riittävä osaaminen turvalliseen navigointiin jos osaamista ei laivan miehistöllä ole. Jääluotseilta edellytettävät pätevyys- ja osaamisvaatimukset eivät ole Polaarikoodin tai STCW-yleissopimuksen perusteella yksiselitteiset. Nykykoulutuksen tasolla advanced-tason kurssin käynyt henkilö ei välttämättä ole jääluotsikelpoinen, mikä voi tuottaa ongelmia alusten miehityksessä. Riittävän aluksen hallintakokemuksen arviointi ja rajaaminen on viranomaisten kannalta ongelmallista: Miten toimitaan jos jääluotsi, joka on tottunut ajamaan pieniä aluksia, joutuu yhtäkkiä isoon alukseen? Tällaisessa tapauksessa suuren aluksen oma päällikkö, jolla

on enemmän kokemusta omasta aluksestaan, voi olla käytännössä jääluotsia pätevämpi. Jääluotsikäytännön todettiin olevan hyvä siirtymäkauden aikana.

### 3.5 Koulutusten sisältö ympäristöasioiden näkökulmasta

Ympäristöasioiden huomioiminen on keskeinen osa Polaarikoodin vaatimuksia. Ympäristöasiat tulisi siksi ottaa huomioon koulutusten sisällön suunnittelussa yli minimivaatimusten. Jos voidaan osoittaa, että suomalainen Polaarialueilla toimimiseen liittyvä merenkulun koulutus antaa osallistujille Polaarikoodin vähimmäisvaatimuksia paremmat valmiudet ympäristöasioiden huomiointiin, sitä voidaan käyttää valttina koulutusta markkinoitaessa. Ympäristöasioiden minimitasoa parempi huomioon ottaminen korostuu etenkin risteilyvarustamoilla, joilla on runsaasti ympäristötietoisia asiakkaita, sekä ympäristöherkillä aloilla kuten öljy- ja kaivosteollisuudessa. Kaikilla näillä aloilla ympäristövastuullisuuden osoittaminen liiketoiminnassa on tärkeää toiminnan hyväksyttävyyden turvaamiseksi. Ympäristöasioiden huomiomisesta kilpailijoita paremmin voisi jopa kehittää Suomen kilpailuedun arktisen merenkulun koulutusmarkkinoilla. Koulutuksen loppuasiakkaat voivat hyödyntää etua omassa liiketoiminnassaan.

### 3.6 Markkinat

Polaarikoodin vaatimusten mukaisen koulutuksen asiakasmääriin haastatellut asiantuntijat suhtautuivat maltillisesti. He tunnistivat viranomaiset keskeiseksi koulutuksen kohderyhmäksi, joka tarvitsee koulutusta heti Polaarikoodin astuessa voimaan. Viranomaisaluksia ennakoidaan liikkuvan Polaarikoodin voimassaoloalueella valvonta- ja muissa tehtävissä. Viranomaisten koulutusvaatimus ei suoraan perustu Polaarikoodiin tai STCW-yleissopimukseen, kuten jo luvussa 1.1. edellä on todettu. Viranomaisalusten miehistöille on kuitenkin monissa maissa, Suomi mukaan lukien, oma koulutusjärjestelmänsä jonka vaatimukset vastaavat ja usein ylittävät siviilialusten miehistöltä vaadittavat pätevyysvaatimukset. Viranomaistoiminnassa tunnistettua koulustarvetta tulee olemaan sekä Suomen että Polaarikoodin alueella liikkuvien muiden maiden viranomaisalusten miehistöillä työpaikkakoulutuksena annettavalle koulutukselle. Suomessa tällaista koulustarvetta on Merivoimien ja Rajavartiolaitoksen alusten miehistölle.

Elinkeinoelämän puolelta tuleva koulutuskysyntä riippuu siitä, miten aktiivisesti polaarialueiden merireittejä aletaan tulevaisuudessa hyödyntää tavarankuljetuksissa ja matkailussa. Talvimerenkulku on niche-markkina, jolla on tarkasti rajattu kohderyhmä. Tällä hetkellä isojen kansainvälisten yritysten, kuten esimerkiksi öljy-yhtiöiden, arktiset projektit ovat pysähdyksissä alhaisen öljyn hinnan vuoksi. Toisaalta myös kaivosyhtiöt mainittiin potentiaalisiksi asiakasryhmäksi. On todennäköistä, että arktisen meriliikenteen suurin kasvu ei tapahdu Koillisväylän kauttakululiikenteessä vaan risteilyturismissa ja Venäjän ja muiden maiden toteuttamien öljy- ja kaasukenttien rakennus- ja tuotantovaiheeseen liittyvissä kuljetuksissa. Risteilyvarustamot ja öljy-yhtiöt ovat erittäin laatu-tietoisia asiakkaita, mikä tukee Suomen mahdollisuuksia tarjota korkeatasoista ja laadukasta polaarimerenkulun koulutusta myös ulkomaisille asiakkaille. Menestymisen edellytyksenä on, että koulutuksen tulee olla kilpailijamaita korkeatasoisempaa ja että myös asiakkaat ovat samaa mieltä.

Potentiaalisina koulutuksen markkina-alueina mainittiin Venäjä, Norja, Kiina, Iso-Britannia USA ja Kanada. Kiinan osalta mainittiin sen intressit yhteistyöhön arktisilla alueilla muidenkin valtioiden kuin Venäjän kanssa. Lisäksi Antarktiksella ja Grönlannissa erilaista toimintaa harjoittavat yritykset ja tutkimusaluksia omistavat valtiot sekä maat, joilla ei ole polaariolosuhteita vastaavia harjoitusympäristöjä omasta takaa. Tällaisia ovat Etelä-Afrikka sekä monet Etelä-Amerikan, Kaakkois-Aasian ja Oseanian alueen maat. Yhdysvallat ja Kanada voisivat sopia korkeatasoisen jääsimulaattorituotteen ympärille rakennettavien palvelujen kohdemaiksi. Markkinoillepääsyä vaikeuttaa se, että molemmat maat ovat vahvasti protektionistisia. Norja on markkinamaana haasteellinen, mutta sen heikkous on talvimerenkulun kokemuksen puuttuminen. Vahvin kilpailija Suomelle talvimerenkulun osaamisessa on todennäköisesti Venäjä. Suomella on kuitenkin ollut koulutusyhteistyötä sekä Norjan että Venäjän kanssa.

Hallinnon näkökulmasta polaarikoodi tulee osaksi STCW-yleissopimuksen lisäpätevyysjärjestelmää. Muiden maiden suorittamat Suomen merikoulujen koulutusten auditoinnit oman pätevyyskirjajärjestelmänsä alle voisivat olla pohtimisen arvoinen asia. Mikäli ulkomaisen maan merihallinto auditoisi suomalaisen merikoulun polaarikoodikoulutuksen, tällöin olisi edullista pitää kurssi erillisenä, itsenäisenä kokonaisuutenaan. Jos ulkomainen sopimusosapuoli haluaa integroida suomalaisen koulutuksen ja sitä järjestävän oppilaitoksen omaan pätevyyskirjajärjestelmänsä, auditointi kohdistuu koko merenkulkuoppilaitoksen laatujärjestelmään. Tällöin olisi edullista, että pieni yksikkö järjestäisi vain tätä yhtä ainoaa koulutusta ja sillä olisi oma laatujärjestelmänsä. Eräät valtiot hyväksyvät jopa videokoulutuksia tai varustamon toimesta annettavaa koulutusta esim. matkustaja-alusten pätevyyksissä, mutta eri maiden vaatimukset vaihtelevat tässä suhteessa huomattavasti. Norja, Tanska ja Hollanti ovat tähän mennessä integroineet Filippiineillä sijaitsevia oppilaitoksia osaksi omaa pätevyyskirjajärjestelmänsä. Koulutuksen järjestäjän kannalta kaikki tämä merkitsee sitä, että pätevyyskirjan ensimmäisenä antava valtion saa eräänlaisen etuoikeuden uusimisten myöntämiseen myös jatkossa. Käytännössä koulutuksen järjestäjien tulisi jo hyvissä ajoin varmistaa että mahdollisimman moni pätevyyskirjan hankkija tulisi juuri Suomeen hankkimaan tämä pätevyyskirja jos halutaan maksimoida koulutuksiin osallistuvien henkilöiden määrät tulevaisuudessa.

Mikäli Polaarikoulutusta halutaan tarjota Suomen ulkopuolisille koulutusmarkkinoille, vientiponnisteluja tukemassa tuli olla koordinoiva taho. ArcMaTe voisi toimia tällaisena tahona: sen tulisi katsoa kaikkien arktisten meriasioiden osalta mitä Suomi voisi viedä eteenpäin ja tarjota omaa osaamistaan. Erään haastateltavan näkemyksen mukaan myös turvallisuuskoulutusasiat ja tietyn tyyppinen tutkimus sopisi ArcMaTe:n tehtäviin. Koska Suomessa on maailman edistynein talvimerenkulun järjestelmä, jäissä ajamisen opettelu voisi olla yksi koulutusvientiin kohde.



Kuva 3.2. Koulutustuotteet osana ArcMaTen arktisten merien turvallisuusteemaa [Risto Rova]

Haastateltavan näkemyksen mukaan Aboa Maren ja sen yhteistyökumppaneiden kehitteillä oleva jäsimulaattori tulee todennäköisimmin olemaan hyvin korkeatasoinen ja parempi kuin minkään muun valmistajan maailmassa tällä hetkellä. Jäsimulaattorin kehittämissasiassa olisi hyvä puhaltaa yhteen hiileen siten, että merikoulut eivät lähde kehittämään muiden maiden simulaattorivalmistajien kanssa samantyyppisiä ympäristöjä. Tällöin vaarana on, että Suomen ainutlaatuista jääosaamista annetaan ulos maasta, mikä merkitsisi osaamisen ja kilpailuedun vapaaehtoista luovuttamista ulkomaille laitteistojen kehittämisen ja kouluttamisen osalta. Oppilaitoksilla Suomessa on vahva osaaminen koulutuksen sisällön ja toteutuksen suhteen. Olisi tärkeää, että koulutusta ja koulutusten järjestämistä ohjattaisiin ylhäältä päin, koska muuten merikoulujen investoinnit helposti hajaantuvat ja koulujen välisestä kilpailusta kärsivät kaikki osapuolet.

Koulutuksen yleinen taso sekä simulaattorin laatu ovat erittäin tärkeitä. Haastateltavien mukaan suomalaisten tulisi pitää korkeatasoinen simulaattoriosaamisensa itsellään eikä luovuttaa sitä muille kaupallisille simulaattorivalmistajille. Näin suomalaiset voivat myydä sitä itse ja asentaa simulaattoreita eri puolille maailmaa sekä lähettää suomalaisia kouluttajia mukana. Asiakkaita Suomeen voisi tulla muualta kuin Euroopasta jos simulaattori tms. on hyvä ja koulutus korkeatasoista.

Haastateltavat korostivat, että on tärkeää viestiä maailmalle suomalaisten merenkulkijoiden polaarialueita koskevasta purjehduskokemuksesta ja jääosaamisesta. Vaikka jääolot myös Itämerellä voivat olla ankarat, Polaarialueiden rantavaltiot usein väheksyvät Itämeren jääolosuhteita, koska Itämerellä ei ole monivuotista jäätä lainkaan. Todellisuudessa alukset purjehtivat polaarialueilla useimmiten olosuhteissa, jotka vastaavat yksivuotisen jään olosuhteita. Suomalainen talvimerenkulun osaaminen ja ympäristö on juuri niihin olosuhteisiin sopivaa. Lisäksi suomalaisilla on pitkä kokemus aluksien, erityisesti jäänmurtajien, valmistuksesta polaariolosuhteisiin. Suomen aluevesillä avustetaan kovina pakkastalvina noin 5 000 alusta joka vuosi. Suomen talvimerenkulun järjestelmä on niin kehittynyt, että suomalaiset eivät itse välttämättä hahmota minkä arvoinen tämä resurssi on.

## 4. LAIVOJEN ALUSKATEGORIAT JA JÄÄLUOKAT

### 4.1 Suomalais-ruotsalainen järjestelmä ja polaariluokat

Polaarikoodin tavoitteena on taata ihmishengen turvallisuus esimerkiksi arktisille ja antarktiksille alueille tehdyissä risteilyissä sekä vähentää meriliikenteen ympäristöhaittoja näillä alueilla. Turvallisuuden kannalta alusten jäävahvistukset ja jäissäkulkukyky ovat olennaisia asioita. Polaarikoodin vaatimusten taustalla ovat turvallisuuden ohella jääolosuhteet sekä laivan runkoon ja alukseen liittyvät muut tekniset tekijät, jotka vaikuttavat operointiin polaarialueilla. Polaarialueilla on erittäin haastavat lämpötilaolot ja muista maapallon alueista poikkeava vuotuinen vuorokauden vaihtelu: kaamos talvella, yötön yö kesällä. Lisäksi on kiinnitettävä erityistä huomioita navigointi- ja kommunikointilaitteiden toimintaan, koska ne toimivat rajallisesti korkeilla leveysasteilla. Alukset liikkuvat kaukana pelastuskeskuksista ja merikartoitus on rajallista. Polaarialueet ovat näistä syistä hyvin haastava ympäristö, jossa purjehtimisesta ei ole vielä riittävästi kokemusta.

Polaarikoodia sovelletaan voimaanastumisen jälkeen kaikkiin uusiin aluksiin, jotka rakennetaan koodin voimaanastumisen jälkeen ja joilla on tarkoitus purjehtia Polaarikoodin piirissä olevilla merialueilla. Lisäksi olemassa olevien alusten, jotka liikkuvat polaarialueella tulee olla Polaarikoodin mukaisia kun alusten katsastukset uusitaan 1.1.2018 jälkeen. Polaarikoodissa ei ole pakollista jääluokkavaatimusta, eikä koodi edellytä, että polaarialueella liikkuvalla aluksella on jääluokitus. Alusta ei siis tarvitse jäävahvistaa, vaan ideana on että polaarikoodisertifikaatti kertoo, mitkä ovat aluksen rajoitteet ja mihin sillä voidaan liikennöidä. Jos purjehdusalue onkin rajaton, ilman jäävahvistusta aluksella ei voi liikkua kuin avovesillä.

Polaarikoodissa on seuraavat jäätä koskevat luokittelut:

- jäästä vapaat vesialueet
- avoimet vedet
- merijää
- mantereelta peräisin oleva jää
- yksivuotinen jää, 0,3 – 2,0 metriä (vrt. yleensä Itämerellä; 30-70cm )
- ohut yksivuotinen jää 0,3 – 0,7 m
- keskipaksu yksivuotinen jää, 0,7- 1,2 m (Perämerellä ollut korkeintaan 120 cm)
- monivuotinen jää; tarkoittaa jäätä joka on selvinnyt ainakin yhden kesän sulamatta kokonaan, tyypillisesti 3 metriä tai paksumpaa



## Aluskategoriat ja jääluokat

Alusten jääluokkavaatimukset ovat keskeinen keino pyrkiä varmistamaan turvallinen merenkulku. Mm. suomalais-ruotsalaisissa jääluokkamääräyksissä (Finnish-Swedish Ice Class Rules, FSICR) on annettu jäissä kulkeville aluksille jäissäkulkuvaatimuksia, rungon lujuutta sekä koneiston ja potkurin lujuutta koskevia määräyksiä, joilla pyritään varmistamaan, että Itämeren olosuhteissa liikennöivillä aluksilla on riittävät ominaisuudet jäissä liikkumista varten. Jääluokka vaikuttaa Itämeren ja Venäjän järjestelmissä myös siihen, onko alus oikeutettu saamaan jäänmurtoavustusta. Eri maiden järjestelmien lisäksi myös luokituslaitoksilla on määräykset ja jääluokat polaarialueille. Aluksella on aina tietty, rakentamisvaiheessa määritelty jääluokka. Polaarikoodi ei muuta tätä asiaa.

Suomen ja Ruotsin merenkulkuviranomaiset ovat vuodesta 1971 lähtien kehittäneet ja julkaisseet ns. suomalais-ruotsalaisia jääluokkasääntöjä. Suomessa alusten jääluokista on säädetty alusten jääluokista ja jäänmurtaja-avustuksesta annetussa laissa (1121/2005). Laissa ja sen nojalla annetuissa määräyksissä jääluokkasääntöjä kutsutaan jääluokkamääräyksiksi. Kunkin aluksen rakennusajankohdasta riippuu, mitä jääluokkasääntöjä siihen sovelletaan. *Alukset kuuluvat suomalais-ruotsalasiin jääluokkiin seuraavasti:*

- 1) jääluokkaan I A Super alus, jonka rakenne, konetehto ja muut ominaisuudet ovat sellaisia, että se pystyy kulkemaan (Itämerellä) vaikeissa jääolosuhteissa pääsääntöisesti ilman jäänmurtajan avustusta;
- 2) jääluokkaan I A alus, jonka rakenne, konetehto ja muut ominaisuudet ovat sellaisia, että se pystyy kulkemaan vaikeissa jääolosuhteissa tarpeen mukaan jäänmurtajan avustamana;
- 3) jääluokkaan I B alus, jonka rakenne, konetehto ja muut ominaisuudet ovat sellaisia, että se pystyy kulkemaan keskivaikeissa jääolosuhteissa tarpeen mukaan jäänmurtajan avustamana;
- 4) jääluokkaan I C alus, jonka rakenne, konetehto ja muut ominaisuudet ovat sellaisia, että se pystyy kulkemaan helppoissa jääolosuhteissa tarpeen mukaan jäänmurtajan avustamana;
- 5) jääluokkaan II alus, joka on teräsrunkoinen ja rakenteeltaan avomerikelpoinen ja joka siitä huolimatta, että alusta ei ole vahvistettu jäissä kulkua varten, pystyy omalla kuljetuskoneistolla kulkemaan erittäin helppoissa jääolosuhteissa;
- 6) jääluokkaan III alus, joka ei kuulu 1–5 kohdassa tarkoitettuun jääluokkaan.

Suomalais-ruotsalaiset jääluokkasäännöt ovat uudistumassa vuoden 2016 aikana, jolloin sääntöihin on tarkoitus lisätä ruoripotkurilaitteita koskevat jääluokkasäännöt.

*Kansainvälisten luokituslaitosten (International Association of Classification Societies, IACS) laatimat harmonisoidut jääluokat Polaarialueilla purjehtimista varten ovat:*

PC1: Operointi kokonaan jään peittämällä vesillä

PC2: Operointi kokonaan jään peittämällä vesillä ja monivuotisen jään alueilla

PC3: Operointi kaksivuotisen jään alueilla, joilla voi olla myös monivuotista jäätä

PC4: Operointi paksun yksivuotisen jään alueilla, joilla voi olla vanhaa jäätä

PC5: Operointi keskivahvoilla yksivuotisen jään alueilla, joilla voi olla vanhaa jäätä

PC6: Operointi ohuesta keskivahvaan olevan yksivuotisen jään alueilla, joilla voi olla vanhaa jäätä

PC7: Operointi ohuilla yksivuotisen jään alueilla, joilla voi olla vanhaa jäätä

*Polaarikoodin aluskategoriat jaetaan kolmeen eri ryhmään:*

Kategoria A: Suunniteltu operointiin polaarialueilla, joilla on vähintään keskipaksua yksivuotista jäätä, joka voi sisältää vanhaa jäätä. Kategoria A:han kuuluvat alukset on vahvistettava jääluokkien PC1-PC5 mukaisesti.

Kategoria B: Alus ei kuulu A kategoriaan, mutta on suunniteltu operointiin alueilla, joilla on vähintään ohutta yksivuotista jäätä alueilla, joka voi sisältää vanhaa jäätä. Kategoria B:hen kuuluvat alukset on vahvistettava jääluokkien PC6-PC7 mukaisesti.

Kategoria C: Alus, joka on suunniteltu operointiin avovedessä tai vähemmän ankarissa jääolosuhteissa kuin A- ja B-kategorian alukset. Kategoria C:hen kuuluvat muihin kuin yllä mainittuihin jääluokkiin rakennetut alukset sekä alukset ilman jääluokkaa.

Suomalais-ruotsalaiset jääluokat ovat C-kategoriassa. Vertailu ei ole yksinkertaista, sillä eri järjestelmien luokat eivät ole yhteismitallisia. Esimerkiksi IA Super-jääluokan mukaisen aluksen osalta pitää tarkastella erikseen mihin Polaarikoodin jääluokkaan alus kuuluu, sillä on mahdollista, että sen voisi nostaa kategoriaan B. Kuitenkin esim. jääluokkaan PC7 rakennetun aluksen runkorakenne on pääsääntöisesti vahvempi kuin IA Super-jääluokkaan rakennetun aluksen. Alun perin tavoitteena oli osoittaa, että IA-jääluokka vastaa PC7:ää. Jälkimmäisen standardia nostettiin, joten nyt vastaavuus täytyy perustella laivakohtaisesti.

Trafi pitää yllä jääluokkien vastaavuusluetteloita. Kriteerinä on edelleen, että konetehot täytetään. Suomalais-ruotsalaisissa jääluokissa oletetaan, että alukseen keulaan kohdistuu vakiojääpaine, polaarijääluokissa A-B jääpaine riippuu keulan muodosta. Kriteerit rungon levyrakenteiden vahvistamiseksi antavat suurin piirtein samoja levynpaksuuksia, mutta rungon jääkaaret ovat jääluokissa PC6 ja PC7 lujemmat kuin vastaavissa suomalais-ruotsalaisissa jääluokissa IA Super ja IA.

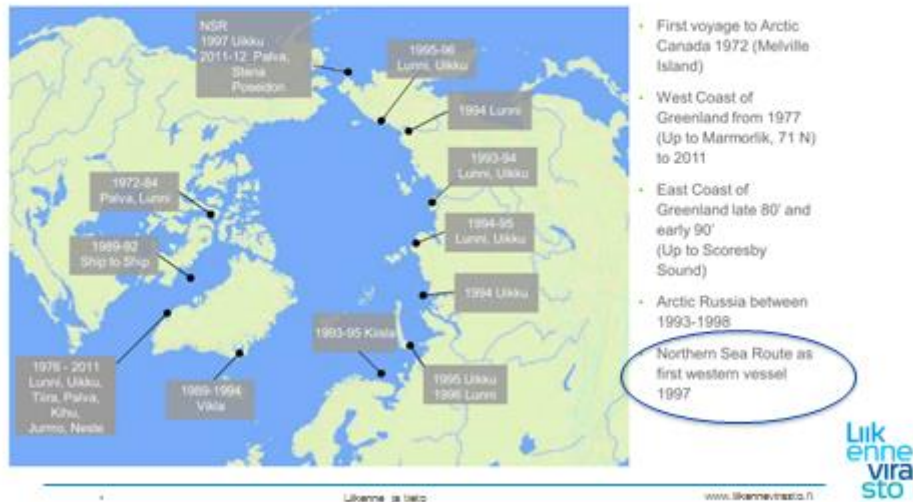
## **4.2 Arktisilla alueilla operoineiden laivojen vertailu historiallisen tiedon perusteella**

Historiallisesti suomalais-ruotsalaisen jääluokituksen mukaisilla laivoilla on liikuttu varsinkin arktisilla alueilla jo usean vuosikymmenen ajan. Suomalaisyhtiöistä polaarialueella liikkumisesta on kokemusta etenkin Nesteen, ESL Shippingin, Alfons Håkansin ja Arctia Shippingin aluksilla [Toivola 2016]. Näiden yhtiöiden omistamat tai rahtaamat alukset ovat liikenneineet Grönlantiin, Venäjän pohjoisiin satamiin ja Koillisväylän kautta Kaukoitään. Suomen lipun alla purjehtivilla FSIRC-laivoilla ja varsinkin vastaavilla venäläisillä aluksilla on liikuttu myös Venäjän arktisilla alueilla (ks. kuva 4.1). Esimerkiksi vuoden 2012 heinäkuun ja syyskuun lopun välisenä aikana liikkui polaarialueella kuusi Suomen lipun alla purjehtivaa laivaa, joista neljä oli Nesteen IA-luokkaisia tankkereita ja kaksi oli Arctian jäänmurttajia [NSR 2016]. Myös Meri-auralla on ollut polaarialueita koskevia suunnitelmia.

Jääluokkaa arvioitaessa on hyvä huomata, että jääluokka on minimirakennevaatimus. Etenkin arktisilla alueilla käytössä olleita vanhoja aluksia on usein vahvistettu. Nämä vanhat alukset, kuten esimerkiksi Nesteen Lunni ja Uikku, ovat todellisuudessa paljon jääluokkasertifikaattiinsa merkittyä jääluokkaa vahvempia aluksia.

### Example of Finnish tanker operator experience in Arctic waters

## Neste Shipping Polar Experience



Kuva 4.1: Neste Shippingin laivat polaarialueella [Lupa kuvaan Neste Oyj].

Alusta operoitaessa vallitsevan jäätilan merkitys on huomattava. Tavallisimmin polaarialueella liikkuvat alukset purjehtivat alueella, jossa esiintyy yksivuotista jäätä jolloin olosuhteet vastaavat monessa suhteessa pohjoisen Itämeren talviolosuhteita. Suomalainen talvimerenkulkuosaaminen on sellaisiin oloihin erittäin sopivaa. Suomalais-ruotsalaisista jääluokista IA- ja IA Super-luokkaisten aluksien katsotaan kykenevän kulkemaan turvallisesti polaarialueilla niissä olosuhteissa, joihin ne on suunniteltu. Polaarialueilla purjehtimista varten ko. aluksille asetettavien liikennerajoitusten määrittelyä varten on tarvetta selvittää suomalais-ruotsalaisten jääluokkien mukaan rakennettujen alusten ääriolujudet.

Mahdollisuus toteuttaa suomalais-ruotsalaisten jääluokkien mukaan rakennettujen alusten ääriolujuuksia koskeva selvitys on Trafissa työn alla. Valmista mittaustietoa on olemassa Lunnin matkoista 1990-luvulla Karanmerellä, mutta aineistoa ei vielä ole analysoitu. Tulevassa selvityksessä on tarkoitus analysoida Lunnin matkoja koskevaa aineistoa samoin kuin myös eräitä tuoreempia mittauksia. Tälle tutkimukselle on hankesuunnitelma valmisteilla, joten tuloksia on saatavilla aikaisintaan vuoden 2016 lopulla. Myös Aker Arctic Technology:n tutki-joilla on tekeillä tutkimus Koillisväylän osalta Venäjältä.

Polaarialueilla liikkumiseen liittyvien riskien arviointi on erittäin hankalaa. Vaikka laivaliikenne polaarialueilla on lisääntynyt ja myös jääluokittamattomia laivoja liikkuu näillä alueilla, muihin maailman merialueisiin verrattuna polaarialueilla liikkuu edelleen suhteellisen vähän laivoja. Polaarialueilla aluksille tapahtuneista vaurioista on vähän tietoa, sillä niitä tulee harvoin ja esimerkiksi merivakuuttajat eivät ole halukkaita näitä tietoja julkistamaan.

Haasteena riskiarvioinnissa ja alusten turvallisessa liikkumisessa polaarialueilla on se, että pohjoinen arktinen ja eteläinen antarktinen alue ovat maantieteellisesti laajoja ja olosuhteet niillä vaihtelevat paljon enemmän kuin Itämerellä. Vain harvoilla merenkulkijoilla on kokemusta polaarialueilla operoinnista. Aluksen päällikön kokemus ja kyky arvioida tilannetta sopeuttaen esimerkiksi nopeutta on erittäin tärkeää.

### 4.3 Järjestelmät, säännökset ja sertifikaatit: POLARIS, PWOM ja polaarilaivatodistuskirja

#### POLARIS ja RIO

Jääolot polaarialueilla ovat hyvin harvoin yhtenäisiä, ja sää- ja jääolosuhteet voivat muuttua nopeasti. Tämä tuo lisähaasteen, jonka seurauksena alusten jääluokat eivät aina vastaa alueella vallitsevien olosuhteiden edellyttämiä vaatimuksia. Polaarikoodi ei ota kantaa aluksen jäissäkulkukykyyn, vaan sen jää varustamon harkintaan. POLARIS (Polar Operational Limit Assessment Risk Indexing) on standardi, jota voidaan käyttää hyväksi arvioitaessa jääolosuhteita ja alukselle aiheutuvia riskejä. POLARIS perustuu kanadalaiseen järjestelmään, ja se on luotu Kansainvälisten luokituslaitosten yhdistyksen (IACS) johdolla arktisten maiden yhteistyönä. Maat voivat halutessaan kehittää ja käyttää POLARIKSEN ohella myös omia järjestelmiään.

POLARIS-järjestelmä ei sisälly Polaarikoodiin vaan se on IMO:n erillinen ohje liikennerajoitusten määrittämistä varten jääoperoinnissa. Siinä selvitetään alukseen kohdistuvat vaaratekijät jääolosuhteiden ja laivan jääluokan pohjalta. Tarkoitus on ollut kehittää päätöksentekojärjestelmä, joka olisi käytettävissä laivan komentosillalla esimerkiksi reittisuunnittelussa ja joka samalla palvelisi myös meriturvallisuusviranomaisten tarpeita. POLARIS-järjestelmässä määritellään ns. RIO-arvo (Risk Index Outcome), joka vertaa aluksen tietoja polaarijääluokkiin A,B,C sekä jääolosuhteisiin (Kuva 4.2). Alukselle annetaan ensin sen jääluokasta ja vallitsevista jääolosuhteista riippuva RIV (Risk Index Value) arvo. Tämän jälkeen arvioidaan jäätyypin konsentraatio alueella kymmenyksinä:

RIO- arvon laskukaava:  $RIO = (C1 * RIV1) + (C2 * RIV2) + (C3 * RIV3) + \dots (Cn * RIVn)$

- C1...Cn= jäätyypin konsentraatio alueella kymmenyksinä
- RIV1...RIVn= aluksen jääluokkaa vastaava (Risk Index Value) arvo.

Ice Class	Ice Free	New Ice	Grey Ice	Grey White Ice	Thin First Year ice 1 <sup>st</sup> Stage	Thin First Year Ice 2 <sup>nd</sup> Stage	Medium First Year Ice less than 1 m. thick	Medium First Year Ice	Thick First year Ice	Second Year Ice	Light Multi Year Ice, less than 2.5 m. thick	Heavy Multi Year Ice
PC1	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	1	1
PC2	3	3	3	3	2	2	2	2	2	1	1	0
PC3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	1	0	-1
PC4	3	3	3	3	2	2	2	2	1	0	-1	-2
PC5	3	3	3	3	2	2	1	1	0	-1	-2	-2
PC6	3	2	2	2	2	1	1	0	-1	-2	-3	-3
PC7	3	2	2	2	1	1	0	-1	-2	-3	-3	-3
IA Super	3	2	2	2	2	1	0	-1	-2	-3	-4	-4
IA	3	2	2	2	1	0	-1	-2	-3	-4	-5	-5
IB	3	2	2	1	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-6
IC	3	2	1	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8
Not Ice Strengthened	3	1	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-8

Kuva 4.1. Risk index values [Kämäräinen 2015]

<i>RIO<sub>SHIP</sub></i>	<i>Ice classes PC1-PC7</i>	<i>Ice classes below PC 7 and ships not assigned an ice class</i>
RIO ≥ 0	Normal operation	Normal operation
-10 ≤ RIO < 0	Elevated operational risk*	Operation subject to special consideration**
RIO < -10	Operation subject to special consideration**	Operation subject to special consideration**

Kuva 4.2. RIO-arvon kertoimet ja operoinnin luokat [Kämäräinen 2015]

Positiivinen RIO-arvo merkitsee sitä, että aluksella on sallittua operoida (kuvat 4.1 ja 4.2). Rajoitettu operointi on sallittua arvoilla 0 > -10 kategorioissa A,B ja C. Jääoloja arvioitaessa käytetään hyväksi olemassa olevia jääkartoitustietoja. Mikäli tietyllä alueella esiintyy toisen vuoden jäätä jonka konsentraatio on alhainen, purjehtiminen voidaan sallia. RIO-arvon ollessa positiivinen tai vähintään 0, operointi tapahtuu normaalisti, -10 ja 0 välillä nähdään riskin kasvaneen ja RIO-arvon jäädessä alle -10, niin operointilupa voidaan antaa vain tarkkaan harkiten. Riskiarviointitaulukko perustuu operaattoreiden kokemuksiin suhteessa jääluokkasääntöihin, ja siihen onko itsenäinen vai jäänmurtajalla avustettu operointi mahdollista. Trafi on tehnyt taulukon siitä, milloin IA-luokan aluksella voi purjehtia itsenäisesti ja milloin avustettuna.

## Polaariohjekirja

Polaarikoodissa on annettu ohjeet aluskohtaisen operointimanuaalin (Polar Water Operational Manual, PWOM) laatimiseen. Polaariohjekirjan sisällysluettelo sisältyy Polaarikoodin toiseen liitteeseen. Polaariohjekirja on käsikirja, joka auttaa laivan omistajaa, päällikköä ja miehistöä päätöksentekoprosessissa. PWOM:n avulla aluksen päällikkö tekee päätöksen, millä alueella alus voi turvallisesti liikkua. Manuaalissa kuvataan miten alusta operoidaan normaaliosuhteissa niin, ettei ylitetä sen kulkukykyä, ja miten varaudutaan odottamattomiin tilanteisiin ja onnettomuuksiin. Lisäksi siihen sisältyy aluksen mahdollinen jäänmurtaja-avustuksen tarve. Käsikirjan tulee sisältää laivakohtaiset rajoitukset (esim. lämpötila missä alusta aiotaan operoida) ja mahdollisuudet operatiivisessa käytössä. Aluksen operointi-rajoitukset ovat erilaiset silloin kuin alus liikkuu itsenäisesti verrattuna tilanteeseen jossa alus liikennöi jäänmurtajan avustamana. Manuaalin tulee sisältää mm. seuraavat menettelytavat:

- Reittisuunnittelussa on otettava huomioon se, että aluksen on kestävä jään ja alhaisen lämpötilan aiheuttamat vaarat suunnitellulla matkalla
- Aluksen on pystyttävä vastaanottamaan kyseisen alueen sää- ja ympäristötietoja
- Koodin edellyttämien laitteiden operointi on selostettava
- Varotoimenpiteiden ja huoltotoimenpiteiden toimeenpano
- Miten saadaan yhteys pelastus- ja öljyntorjuntaviranomaisiin
- Miten alus selviytyy jäädyttyään kiinni pitemmäksi aikaa

Alusta koskevat rakennevaatimukset noudattavat operointimanaalissa samaa mallia kuin suomalais-ruotsalaisissa jääluokissa. Tavoitteena on, että alusten teräsvahvuudet kestävät olosuhteita, joihin ne on suunniteltu.

Alusta kokevat miehitys- ja koulutusvaatimukset toteutetaan SCTW-koodin kautta. Turvallisuuteen liittyvät ohjeet on määritelty SOLAS-sopimuksessa, johon Polaarikoodissa viitataan. Alla tarkemmin esiteltäyn polaarilaivatodistuskirjaan merkitään myös pelastautumiseen tarvittava aika, joka vaikuttaa siihen millaiset aluksen omien pelastautumisvälineiden on oltava. Todistuksessa myös arvioidaan, kuinka pohjoisessa alus kykenee purjehtimaan.

## Polaarilaivatodistuskirja

Jokaisella aluksella, joka aikoo operoida polaarialueilla, tarvitsee polaarilaivatodistuskirjan (Polar Ship Certificate). Tämän sertifikaatin antaa joko IMO tai sen hyväksymä henkilö tai organisaatio. Suomessa tämä organisaatio on Liikenteen turvallisuusvirasto Trafi. Polaarilaivatodistuskirja tulee laatia IMO:n mallin mukaisesti. Jos se on laadittu muulla kielellä kuin englanti, ranska tai espanja, tulee sertifikaatti kääntää johonkin näistä edellä mainituista kielistä. Liitteenä tähän todistuskirjaan kuuluu myös vaatimusten mukainen lista aluksen pakollisista laitteistoista. Sertifikaatin tulee sisältää mm. seuraavat tiedot aluksesta:

- Aluksen kategoria, A, B, C
- Aluksen jääluokka
- Aluksen syväys
- Aluksen tyyppi: tankki/ matkustaja- alus/ muu
- Rajoitukset jääolosuhteissa ja korkeilla leveysasteilla
- Aluksen operointi alhaisissa lämpötiloissa
- Aluksen pisin oletettu pelastautumisaika päivissä laskettuna

Polaarilaivatodistuskirjaan merkitty pelastautumiseen tarvittava aika vaikuttaa siihen, millaiset aluksen omien pelastautumisvälineiden on oltava. Todistuskirjaa laadittaessa arvioidaan, kuinka pohjoisessa alus kykenee purjehtimaan.

Purjehdittaessa katsotaan, ettei alukselle annettuja määräyksiä ja mahdollisia operointiolosuhterajoituksia ylitetä. Polaarikoodin lähtökohtana on, että valitaan sopiva laiva niihin jää- ja lämpötilaolosuhteisiin missä aiotaan purjehtia. Kuten jo edellä on todettu, Polaarikoodi ei sanele jääluokkia tai määritä alusta koskevia pakollisia vaatimuksia. Jopa jäävahvistamattomalla aluksella voi purjehtia Polaarialueella, mikäli purjehdusajankohtana ei ole jäitä.

## 4.4 Polaarikoodin toimeenpano Suomen kannalta: laivat, Trafi

Liikenteen turvallisuusvirasto Trafi on osallistunut aktiivisesti Polaarikoodin kehitystyöhön IMO:n alakomiteoiden kokouksissa, Polaarikoodikirjeenvaihtotyöryhmissä sekä MEPC:n ja MSC:n kokouksissa. Suomen kantana on ollut, että Polaarikoodia kehitettäessä pääperiaatteena tulee olla, että koodissa otetaan huomioon aluksille asetettavat erityisvaatimukset koskien turvallista liikennöintiä polaarialueilla, merenkulkijoiden turvallisuutta ja ko. alueiden merympäristönsuojelua.

IMO ei edellytä Suomelta lippuvaltiona selvitystä kansallisesta järjestelmästä, jolla jatkossa säädellään polaarialueille liikennöivien alusten jääluokitusta. Koska Suomi ja Ruotsi hallinnoivat suomalais-ruotsalaisia jääluokkasääntöjä, Suomen viranomaiset kuitenkin katsovat että heidän tulee pystyä kertomaan julkisesti näiden alusten ääriolosuhteet, jotta laivojen Polaaritodistuskirjoihin voidaan laittaa oikeat arvot. Lähtökohtana tulisi aina olla todellinen operointi: missä laivan varustamo haluaa alusta operoida ja mitkä ne olosuhteet siellä ovat [Kämäräinen 2015].

Suomalais-ruotsalaiset (FSICR) jääluokat on suunniteltu Itämeren jääolosuhteisiin. Suomen esitys IMO:ssa on ollut, että suomalais-ruotsalaisen jääluokituksen mukaisilla aluksilla voitaisiin purjehtia myös Polaarialueilla niissä oloissa mihin ne on suunniteltu. Tämä tarkoittaa sitä, että aluksella ei välttämättä ole pakko olla polaarijääluokkaa olosuhteissa jotka ovat samankaltaisia kuin Itämeren jääolosuhteet. Polaarikoodi sallii tämän, mutta nämä olosuhteet tulee erikseen määritellä tarkasti.

Polaarialueilla on monivuotista jäätä, mitä Itämerellä ei ole, ja polaariluokitettut laivat ovat suomalais-ruotsalaisen jääluokituksen mukaisia laivoja paremmin suunniteltu ottamaan sen huomioon. Toisaalta monivuotista jäätä ei ole arktisella alueella esim. Karanmerellä normaalisti. Jos laiva purjehtii alueilla, missä ei ole monivuotista jäätä, ei ole esteitä purjehtia IA Super-jääluokkaan rakennetulla aluksella jään paksuuden ollessa metrin luokkaa. IA-jääluokkaan rakennettu alus kykenee operoimaan noin 80cm paksuisessa jäässä. Jäänmurtajaavustusta on saatavilla liikennöitäessä Venäjän pohjoisiin satamiin ja Koillisväylän läpi. Grönlantiin ja Etelämantereelle alukset sen sijaan purjehtivat itsenäisesti ilman jäänmurtajaavustusta. Tällaiseenkin liikenteeseen alukset, joilla on suomalais-ruotsalainen jääluokka, soveltuvat hyvin. Polaariluokiteltuja laivoja on toistaiseksi varsin vähän, noin 30 kpl [Toivola 2016].

Suomen kannalta keskeinen kysymys on ollut, miten suomalais-ruotsalaisen jääluokitusjärjestelmän mukaisten laivojen PWOM:it osataan laatia oikealla tavalla. Trafin asiantuntijat ovat olleet vahvasti mukana valmistelemassa Polaarikoodin voimaansaattamiseen liittyviä säännöksiä. Trafin asiantuntijat myös myöntävät suomalaisille aluksille polaarikooditodistuskirjoja sekä merenkulkijoille Polaarikoodiin liittyviä lisäpätevyystodistuksia. Suomalais-ruotsalaiset jääluokkasäännökset on tehty Itämeren olosuhteisiin, ja niissä otetaan kantaa aluksen jäissäkulkukykyyn. Vuosien saatossa syntyneet hyvät käytännöt on käytännössä kirjattu jääluokkasääntöihin. Polaarilaivatodistuskirjojen hyväksyminen käytännössä tarkoittaa viranomaisten puolelta tehtävää linjausta koskien alusten jäissäkulkukykyä.



## 4.5 Jääluokkiin liittyviä kysymyksiä

Polaarikoodiin liittyvien turvallisuussäädösten toimeenpanon valmistelu ja viranomaisten tehtävien määrittäminen on edennyt Suomessa hyvin. Polaarialueilla liikennöintiin liittyy viranomaisten näkökulmasta monenlaisia riskejä ja vielä avoimia kysymyksiä. Polaarialueiden vesillä laivat joutuvat liikkumaan paljon enemmän yksin. Arvio siitä missä oloissa aluksella voi liikkua (ml. jäävahvistusten kestävyys ja jäänmurtaja-avustuksen tarve) perustuu ensisijaisesti aluksen päällikön itsearviointiin. Polaariohjekirja (PWOM) toimii, jos aluksen päällikkö on kokenut. Vain harvoilla merenkulkijoilla on kokemusta operoinnista polaarialueilla. Arktinen ja antarktinen alue ovat pinta-alallisesti todella laajoja eikä sää- ja jäätietoa niiltä ole saatavissa samalla kattavuudella kuin Itämereltä [Kämäräinen 2015]. Lisäksi olosuhteet näillä alueilla vaihtelevat paljon enemmän kuin Itämerellä. Tätä selvitystä varten järjestetyn työpajan osallistajat olivat huolissaan, ymmärtävätkö aluksen rahtaajat asian vakavuuden ja operaattorin ottaman riskin suuruuden.

Riskienarvioinnin kannalta ongelmana on myös, että eri lippu- ja rantavaltioilla on erilaisia käsityksiä riskeistä. Rantavaltiot voivat halutessaan merioikeusyleissopimuksen (UNCLOS) nojalla asettaa omia säännöksiä ja vaatimuksia siitä, minkälaisella aluksella heidän vesialueellaan saa operoida. Rajoitusten nojalla rantavaltio voi kieltää aluksen pääsyn aluevesilleen. Yksittäisen aluksen ja sen omistajan kannalta haasteena on siksi liikkuminen usean eri tavalla säännöstellyn alueen läpi. Nähtäväksi jää, poikkeavatko esimerkiksi venäläisten tai kanadalaisien viranomaisten aluevesilleen määrittämät olosuhterajat muiden maiden viranomaisten aluksille myöntämien PWOM:n mukaisista olosuhteista. Lisähaaste on, miten polaari- vesien rantavaltiot pystyvät valvomaan aluevesiensä ulkopuolella liikkuvia aluksia.

Eri maiden välillä on myös erilaisia käytäntöjä laivan turvallisen operoinnin ja sitä koskevien rajoitusten määrittelyssä ja noudattamisessa. Esimerkiksi joissakin tapauksissa on voitu luokitella, että laiva kulkee vain eteenpäin. Nykyään rakennetaan kuitenkin myös laivoja, jotka liikkuvat jäissä eteenpäin peruuttamalla. Suomessa osaaminen ja ymmärrys polaarialueiden olosuhteista ovat hyvällä tasolla ja riskit osataan analysoida, mutta muiden maiden välillä on vaihtelua niin osaamisen kuin sääntöjen noudattamisen suhteen. Polaarikoodi ei mahdollista pääsyä toisten asiantuntijoiden tekemiin arvioihin.

Varustamoiden kannalta koko maailman laajuinen jääluokkasysteemi olisi toivottava, mutta ei mahdollinen. Pitkällä reitillä laiva joutuu usein kulkemaan usean eri rantavaltion rajoitus-määrittelyn kautta ja määrittämään eri maiden viranomaisille heidän järjestelmänsä mukaiset luokat. Esimerkiksi Suomessa on jo käytössä jääluokkien vastaavuustaulukko. Toivottavaa ja odotettavaa on, että luokituslaitokset vähentävät omien jääluokkiensa käyttöä ja ottavat käyttöön polaarijääluokat.

Uusia laivoja suunniteltaessa aluksen operaattorin kanssa arvioidaan missä alus tulee kulkemaan ja laiva suunnitellaan sen mukaan. Suomalaiset toimeenpano-ohjeet ovat valmisteilla uusien polaarialueilla liikkumaan suunniteltujen alusten suunnittelua koskevaan tarpeeseen.

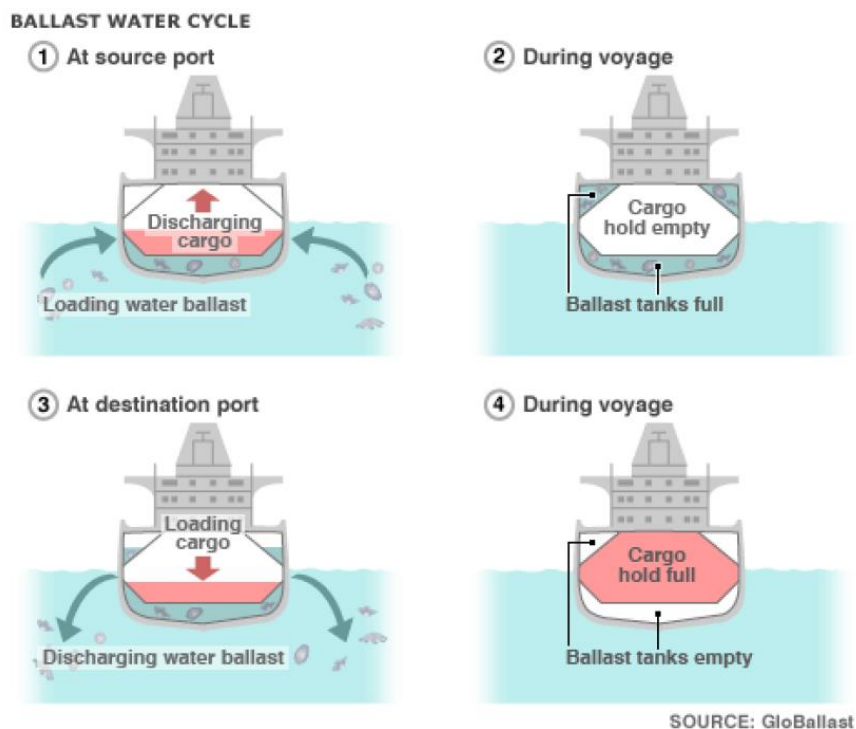
Jääsääntöjen kehitystyö on tärkeää pitää erossa kaupallisilla periaatteilla toimivien luokituslaitoksien vastuulta, jotka nykyisellään hyötyvät järjestelmän monimutkaisuudesta. Luokituslaitokset vastaavat laivan säännöksistä rakennusvaiheessa. Ne kilpailevat keskenään mikä voi johtaa haluun lieventää sääntöjä. Suomalais-ruotsalaisia jääluokkia hallinnoidaan ja kehitetään Suomen ja Ruotsin viranomaisten toimesta. IACSille on delegoitu tarkistustyö ja sertifiointi, jonka viranomaiset vahvistavat [Kämäräinen 2015].

Vauriodatan puuttuminen vaikeuttaa mahdollisuutta tehdä määrällisiin mittareihin perustuvia riskianalyyskejä laivoille. RIO ei myöskään huomioi avovesioloissa esiintyvää jäätämistä. Jos jää kiinnittyy rakenteisiin avovesillä, ongelmat eivät ole mukana RIO:ssa vaan vakavuuspuolella. Vakuutusyhtiöiden kannalta polaarialueilla purjehtivien laivojen vakuutuksien arvottaminen on haasteellista, koska alueilla on liikkunut vähän aluksia. Siksi vakuutusyhtiöt herkästi laittavat polaarialueilla liikkuville aluksille korotetun omavastuun, varsinkin jos varustamolla ei ole kaskovakuutusta.

## 5. ALUSTEN PAINOLASTIVESIEN KÄSITTELYMENETELMÄT JA -LAITTEISTOT

### 5.1 Painolastivesiä koskeva yleissopimus ja käsittelylaitteistojen tyyppihyväksyntäohjeistus (G8)

Ilman lastia kulkevat alukset tarvitsevat vakauden ja kulkusyvytyden säilyttääkseen painolastivettä (kuva 5.1), joka pumpataan mereen lastausseuraksi. Maailmalla siirretään vuosittain 3–4 miljardia tonnia painolastivettä satamasta toiseen. Näiden vesien mukana on arvioitu maailmanlaajuisesti kulkeutuvan yli 7000 lajia joka hetkellä. Lajeista suurin osa ei selviydy haastavasta matkasta hengissä, mutta selviytyvät lajit ovat sitkeitä ja muuntautumiskykyisiä [Koivistoinen 2014]. Lajien leviämiskahva painolastiveden mukana ja alusten rakenteissa on aina olemassa alusten liikkussa satamasta toiseen. Painolastivesien puhdistustarve on suurin erityisesti kansainvälisessä liikenteessä laivojen liikkussa mantereelta toiselle, jolloin vierasta lajistoa siirtyy uuteen ympäristöön. Lisäksi painolastiveden mukana saman lajin eri kantoja voi siirtyä paikasta toiseen samankin merialueen sisällä. Painolastiveden ja -sedimenttien mukana kulkeutuvat tuhannet eläin- ja kasvilajit ja mikrobit voivat syrjäyttää alkuperäisiä lajeja ja aiheuttaa siksi niin terveydellisiä kuin taloudellisiakin haittoja. **Erityisen haitallista on vieraslajien leviäminen herkkiin ympäristöihin kuten Polaarialueille.** IMO:n arvion mukaan tulokaslajien aiheuttamat taloudelliset vahingot ovat vuosittain kymmeniä miljardeja euroja. **Polaarikoodi ei sisällä painolastivesien käsittelyä koskevia määräyksiä. Koodin vapaaehtoisessa osassa kuitenkin suositetaan painolastivesiyleissopimuksen toimeenpanoa ennen sen voimaantuloa ja aluksen rakenteisiin kiinnittyvien kasvustojen minimoimista jääolosuhteissa.**



Kuva 5.1. Painolastiveden kierto [Globalballast 2015].

Riski painolastiveden sisältämien eläin-, kasvi- ja mikrobilajien pääsystä Itämereen ja etenkin pohjoisille arktisille vesille on entistä todennäköisempi, kun ilmasto lämpenee ja Venäjän öljyviennin kasvu tuo maailmalta Itämerelle ja Koillisväylälle suuria öljy-laivoja täynnä painolastivettä.

IMO:ssa hyväksyttiin vuonna 2004 alusten painolastivesien ja -sedimenttien valvontaa ja käsittelyä koskeva kansainvälinen yleissopimus (International Convention for the Control and Management of Ships' Ballast Water and Sediments, jäljempänä painolastivesiyleissopimus). Sopimuksella pyritään ehkäisemään alusten painolastivesien mukana leviävien vieraiden eliölajien kulkeutumista uusiin elinympäristöihin. Yli kymmenen vuotta valmisteltu sopimus tulee voimaan vaiheittain sen jälkeen, kun 30 maata, jotka edustavat vähintään 35 prosenttia maailman kauppalaivaston tonnistosta, ovat sen ratifioineet. Vuoden 2016 alussa sopimuksen ratifioinnin ehtona oleva tonnistokriteeri ei täytynyt, vaikka ratifioineita maita oli tuolloin jo riittävästi.

Suomen hallitus on tehnyt esityksen painolastivesiyleissopimuksen voimaansaattamista varten vaadittavista lainsäädäntömuutoksista vuonna 2015. Hallituksen esityksessä mainitaan, että Suomi on varautunut hyväksymään sopimuksen ja saattamaan sen asteittain voimaan vuoden 2016 aikana [HE 122/2015 vp]. Itämeren maista Ruotsi, Tanska, Saksa ja Venäjä ovat jo ratifioineet sopimuksen. Muissa Itämeren maissa lainvalmistelu on vireillä.

IMOn MEPC-komitean 68. kokous toukokuussa 2015 yhtyi Interferryn ehdotukseen (mm. Suomen, Ruotsin ja Tanskan tuki), jonka mukaan päätöslauselmaa A.1088(28) sovelletaan käsittelylaitteiston asentamiseen aluksen uusintakatsastuspäivämäärän mukaan myös sellaisilla alueilla, joilla painolastivesien vaihto ei ole mahdollista. Tämä koskisi myös Itämerta [Mäkinen 2015].

Painolastivesiyleissopimus koskee kaikkia kansainvälisessä liikenteessä olevia aluksia, jotka voivat kuljettaa painolastivettä. Se velvoittaa myös niiden maiden aluksia, jotka eivät ole ratifioineet sopimusta, mikäli alukset liikkuvat ratifioineiden maiden aluevesillä. Alusten sertifiointi- ja katsastussäännökset velvoittavat vain yli 400 GT aluksia, jotka toimivat kansainvälisessä liikenteessä. Aluksen katsastuksessa tarkistetaan mm. painolastivesien käsittelylaitteiston toiminta.

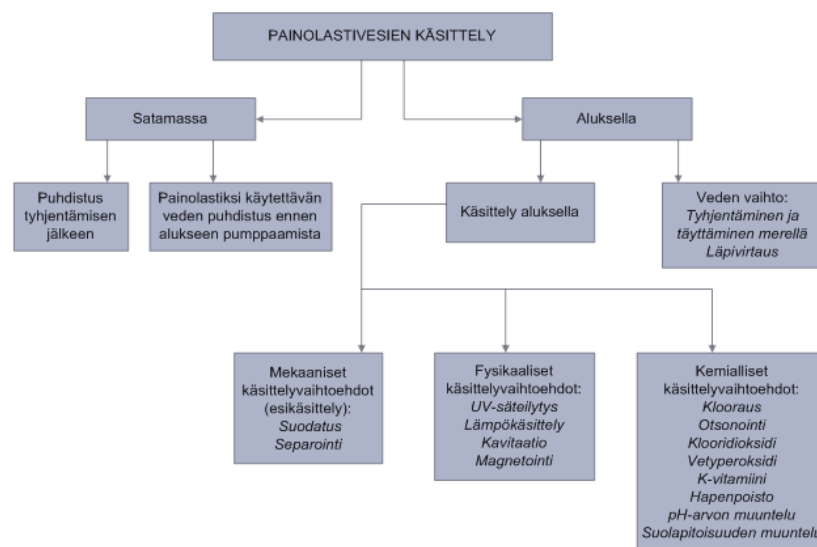
Painolastivesiyleissopimus sisältää määräykset painolastivesien käsittelylaitteistoista, painolastiveden ottamisesta ja vaihtamisesta merellä sekä painolastivesitankkien tyhjentämisestä mahdollisimman haitattomasti. Sopimuksen tullessa voimaan aluksilla tulee olla painolastivesien käsittelylaitteisto asennettuna tai ennen laitteiston asentamista hyväksytty painolastiveden hallintasuunnitelma. Sopimuksen nojalla käsittelemätöntä painolastivettä saa laskea mereen vain ns. aavalla merellä, 200 merimailin (370 km:n) päässä lähimmästä rannasta. Itämerellä merialueen pienuudesta johtuen tällaisia olosuhteita ei ole missään. Muualta Itämerelle tulevat alukset eivät myöskään voi vaihtaa painolastivettään Itämerellä.

Ennen aluskohtaista painolastiveden käsittelylaitteiston asennusvaatimusta painolastiveden vaihto voidaan hyväksyä sopimuksessa määritellyllä tavalla väliaikaisena toimenpiteenä. Painolastiveden vaihdot tulee merkitä aluksen painolastivesipäiväkirjaan, joka voi olla joko sähköinen kirjausjärjestelmä tai toiseen päiväkirjaan tai järjestelmään sisältyvä osa. Painolastiveden vaihtoa ja painolastiveden hallintajärjestelmän noudattamista seurataan aluksen teknisten hallintajärjestelmien ja sensorien avulla. Niissä satamissa ja korjaustelakoilla joissa tehdään painolastitankkien puhdistus- ja korjaustöitä, tulee yleissopimuksen mukaan olla sedimenttien vastaanottolaitteisto.

## 5.2 Laitteistojen valinta ja niiden toiminta

Varustamon/laivan omistajan tulisi valita sopiva painolastien käsittelymenetelmä sen mukaan, minkälaisissa oloissa ja millaisella maantieteellisellä alueella alusta aiotaan käyttää. Koska laivan käyttöikä on usein vähintään 20 vuotta ja painolastivesien käsittelylaitteisto on kallis asentaa ja huoltaa, sopivan laitteiston valinnalla on iso merkitys aluksen käyttökustannusten ja jälleenmyyntiarvon kannalta. Laitteistojen asennus olemassa oleviin aluksiin voi olla vaikeaa, koska laitteisto vie tilaa joka on pois aluksen lastitilasta. Koska painolastivesiyleissopimus ei vielä ole voimassa, käyttökokemuksia laitteistojen toiminnasta aluksilla on vähän. Lisäksi puhdistusteknologia kehittyy koko ajan. Vanhojen laitteistojen toimivuus, varaosien saanti ja käyttö- ja huoltokustannukset askarruttavat varustamoita. Vapautusten joustava saaminen on varustamoiden näkökulmasta tärkeää.

Painolastivesien puhdistusmenetelmiä on suhteellisen laaja valikoima (kuva 5.2). Tällä hetkellä on yli 50 hyväksyttyä laitetta ja yli 20 eri menetelmää [Bergman 2015]. Laitteistoissa käytetään erilaisia mekaanisia, fysikaalisia ja kemiallisia menetelmiä ja niiden yhdistelmiä, mm. otsonointia, ultraviolettia- (uv) ja ultraääni- (uä) käsittelyä, lämpökäsittelyä, oksidointia ja biologista hapenpoistoa [Koivistoinen 2014]. Käytössä olevat menetelmät muistuttavat vesijohtoveden puhdistustekniikoita. Yleensä laitteistoissa yhdistyy kaksi eri menetelmää, joista tavallisimmin ja luotettavimpana pidetty on uv ja mekaaninen suodatus eli filtti. Itämeri on haasteellinen ympäristö käytettävissä olevien laitteiden toiminnan kannalta, sillä talviaikaiset alhaiset lämpötilat vaikeuttavat kemikaalien toimivuutta.



Kuva 5.2. Painolastiveden käsittelymenetelmät [Koivistoinen 2014].

Laitteiston valinta ei ole yksinkertaista, sillä jokaisen aluksen painolastivesien käsittely tulee suunnitella aluskohtaisesti laivan ominaisuuksien ja kulkureittien mukaisesti. Käsittelyvaihtoehtoja valittaessa tulee ottaa huomioon esimerkiksi seuraavat tekijät:

- normaalit laivatoiminnot ja matka-aika
- laivan tyyppi, rakenne ja koko
- painolastiveden määrä ja virtausnopeus
- puhdistuslaitteiston koko, kustannukset ja käsittelyyn tarvittava aika

- mahdolliset ympäristövahingot
- sääntöjen noudattamiseen liittyvä valvonta, kuten näytteenotto
- miehistön ja matkustajien turvallisuus
- tehokkuus tavoiteorganismien poistossa
- käsittelylaitteiston vaivaton käyttö [Koivistoinen 2014]

Aluksen käyttöalue määrittää pitkälle sitä millaisia haasteita tulee ottaa huomioon painolastivesien käsittelyn suhteen. Laitteistojen toimitusongelmat sekä epävarmuus ylläpidon ja varaosien saatavuudesta esimerkiksi rikkoontumistilanteessa ovat epävarmuustekijöitä. Mikäli aluksen painolastiveden käsittelyjärjestelmä rikkoontuu, korjaajan ja varaosien saaminen voi osoittautua hankalaksi erityisesti polaarialueilla liikuttaessa. Ongelmana on miten toimitaan, mikäli aluksen painolastivesilaitteisto ei toimi.

Vaikka laitteistot ovat hyvin pitkälle automatisoituja, laitteiston käyttöön tarvittavan henkilöstön koulutus ja henkilöstön työkuormitus tuottaa varustamoille lisäkustannuksia. Uhkana on varustamon kannalta myös se, että suuren investoinnin vaativa laitteisto voi pahimmassa tapauksessa jäädä käyttöasteeltaan hyvinkin pieneksi, mikäli aluksella on vähän painolastioperaatioita. Yleisesti ottaen laitteistojen käyttökustannusten arviointi on yhä vaikeaa, koska kokemuksia on vähän.

Laivoihin asennettavan laitteiston ohella alusten painolastivedet on mahdollista purkaa ja käsitellä satamissa, mikäli siellä on painolastivesien vastaanottolaitteisto. Satamien painolastivesien käsittelykapasiteeteista ei ole vielä riittävästi tietoa. Hyvästä vedenkäsittelyjärjestelmästä satamat voivat kehittää halutessaan kilpailuedun.

Alukselle on mahdollista myöntää vapautus painolastivesien käsittelystä sopimuksessa erikseen määritellyin edellytyksin ns. saman riskin alueilla. Näistä alueista ei kuitenkaan ole säädetty vielä missään. Tällä hetkellä käytössä olevia, lajien leviämiskäsitteeseen perustuvia riskinarviointimenetelmiä on kolme: samankaltaisiin ympäristöihin perustuva menetelmä (Environmental matching risk assessment), lajien maantieteelliseen levinneisyyteen perustuva menetelmä (Species' biogeographical risk assessment) sekä lajikohtainen riskienarviointi (Species-specific risk assessment). Vielä on tarkemmin määrittelemättä, minkälaisin kriteerein ja maantieteellisin rajauksin vapautuksia voitaisiin myöntää esimerkiksi pelkästään polaarialueilla tai Itämerellä liikkuville aluksille. Koska saman merialueen sisällä olevat alueet ovat laivaliikenteen ja eliöiden leviämiskäsitteeseen suhteen erilaisia, saman riskin alueen satamien määrittäminen on vaikeaa. Vapautusten myöntäminen riippuu lisäksi siitä valtiosta jonka määräysten kohteena kyseinen merialue on.

### 5.3 Laitteistojen toimivuus kylmissä olosuhteissa ja polaarialueilla

Painolastivesilaitteistojen toimivuuteen arktisissa ja kylmissä oloissa liittyy lukuisia epävarmuuksia. Hyväksytyt laitteistot on kehitetty toimimaan niillä alueilla, missä valtaosa maailman aluksista liikkuu. Hyväksytyjen laitteistojen soveltuvuutta polaarialueisiin ei ole erikseen testattu, sillä testaus on kallista ja aikaavievää. Nykyinen G8-tyyppihyväksyntä kuitenkin vaatii laitteiston testausta kahdessa eri suolapitoisuudessa ja velvoittaa huomioimaan veden lämpötilan ja sameuden. Tyyppihyväksyntätodistukseen on myös merkittävä laitteen käyttöä rajoittavat olosuhteet. Suomalalaisia painolastivesilaitteistojen valmistajia on tällä hetkellä vain kaksi. Itämeren oloissa on testattu mm. Auramarinen painolastivesilaitteiston toimintaa. On-

gelmana on, että nykyisissä Land-based testauslaitoksissa ei ole mahdollista simuloida polaarialueiden olosuhteita. Arktisella alueella painolastivettä tarvitsevat alukset voivat tulla Venäjän pohjoisilta joilta, joiden makea vesi tuo oman haasteensa painolastivesien käsittelylle.

Painolastivesilaitteistojen käyttökokemuksia kylmistä oloista on lähinnä Yhdysvalloista ja Kanadasta. Kylmissä oloissa ongelmina ovat suodattimen jäätyminen ja tukkeutuminen sekä kemikaalien toimivuus kemialliseen puhdistukseen perustuvissa järjestelmissä. Polaarialueiden oloissa, joissa etäisyydet satamien välillä ovat useita satoja merimaileja, laitteen rikkoutuminen ja toiminnan lakkaaminen on erityisen suuri ongelma. Tilanteen haasteellisuutta lisää se, että polaarialueilla ei ole infrastruktuuria painolastivesien ja niiden mukana kertyvien sedimenttien vastaanottamiseksi. Myös laitteiden toimivuus Itämeren kaltaisilla murtovesialueilla tulisi selvittää erikseen. UV-käsittelyyn perustuvaa järjestelmää pidetään yleisesti ottaen luotettavimpana.

Painolastivesien käsittelyjärjestelmien hyväksymisestä on G8-ohjeessa määritelty mittaustilanteeseen liittyvät vaatimukset [Eriksson 2015]. Hyväksymiskäytännöllä tavoitellaan käsittelyjärjestelmien alhaisia haittavaikutuksia laivojen turvallisuudelle, ihmisten terveydelle ja meriympäristölle. Näitä vaatimuksia ovat mittauksiin käytettävä aika sekä veden laatuvaatimukset, kuten organismien minimitiheys, kokonaiskiintoaine ja suolapitoisuus. Ohjeessa on myös vaatimus, että maalla on suoritettava vähintään kymmenen laitteistotestiä, joiden on kunkin kestettävä vähintään viisi vuorokautta. Tällä toimenpiteellä varmistetaan, että organismit ovat vähentyneet käsittelyjärjestelmän vuoksi ilman, että muilla tekijöillä olisi ollut vaikutusta asiaan. Myös organismien mahdollinen jälkikasvu ja solujen korjausmekanismit pystytään havaitsemaan viiden vuorokauden sisällä.

Mittauksessa käytettävällä vedellä on myös merkitystä. Siksi vesi tulee säilyttää painolastivesitankkien olosuhteita mukailien täysin vedeltä suojattuna tankissa, jonka tilavuus on vähintään 200 m<sup>3</sup>. Myös veden kemiallisilla ominaisuuksilla (mm. liuennut ja orgaaninen hiili, kokonaiskiintoaine, suolapitoisuus) voi olla käsittelymenetelmästä riippuen vaikutusta tuloksiin, joten näille on määritelty myös raja-arvot. Laitteistotestauksessa lisäksi tulee mitata veden pH, lämpötila ja sameus sekä ennen että välittömästi käsittelyn jälkeen ja vielä veden takaisinlaskun yhteydessä. Ohjeistuksen mukaan käytettävän veden tulee sisältää tietty määrä erisuuruisia organismeja, joko luontaisesti esiintyvänä tai viljeltyinä. Veden on sisällettävä tutkimuksen alussa kuutiometriä kohden vähintään 100 000 yli 50 µm:n kokoista yksilöä. Mikäli mahdollista, suositellaan kuitenkin, että kyseisen kokoluokan yksilöitä olisi kuutiometriä kohden miljoona kappaletta. Suuruudeltaan 10-50 µm:n kokoisia organismeja veden tulee sisältää vähintään 1 000 yksilöä, mutta mielellään 10 000 yksilöä, millilitraa kohden. Sekä yli 50 µm kokoluokan että 10-50 µm kokoluokan muodostavien organismien tulee koostua vähintään viidestä eri lajista, mitkä kuuluvat vähintään kolmeen eri lahkoon [Drillet et al. (2013) Koivistoinen (2014) mukaan].

Laitteiston tyyppihyväksyntätodistuksessa tulee mainita laitteen käyttöä rajoittavat olosuhteet, mukaan lukien lämpötila. Lämpötila vaikuttaa merkittävästi painolastiveden mukana siirtyviin eliöihin. Kyseinen ilmiö tulee ottaa huomioon, kun painolastivesien sisältöä analysoidaan standardin D-2 mukaisesti. Useimmat vaihtolämpöiset eliöt muuntautuvat siten, että ne ovat pienempiä korkeammassa lämpötilassa. Joidenkin lajien tai niiden munien kohdalla voi käydä niin, että ne kuuluvat kokonsa puolesta 10-50 µm:n ryhmään lämpimillä vesialueilla, mutta kylmemmillä vesialueilla niiden koko on yli 50 µm. Yleisesti ottaen, mitä korkeampi maantieteellinen leveysaste on kyseessä, sitä suurempia ovat myös vesissä elävät eliöt. Lämpötilan



vaikutuksen huomiotta jättäminen voi pahimmillaan tarkoittaa laitteistojen täydellistä sopimattomuutta kylmillä vesialueilla käytettäväksi [Drillet et al. 2013].

## **5.4 Painolastivesiyleissopimuksen merkitys Suomelle (lippuvaltiona), suomalaiselle merenkululle ja laitetoimittajille**

Painolastivesiyleissopimuksen voimaantulon myötä Suomen ulkomaanliikenteessä kulkeviin laivoihin tulee asentaa painolastivesien käsittelylaitteistot. Riski painolastiveden sisältämien eläin-, kasvi- ja mikrobilajien pääsystä Itämereen ja etenkin pohjoisille arktisille vesille on entistä todennäköisempi, kun ilmasto lämpenee ja Venäjän öljyviennin kasvu tuo maailmalta Itämerelle ja Koillisväylälle suuria öljylainoja täynnä painolastivettä.

Painolastivesiyleissopimus sisältää määräykset muun muassa painolastivesien käsittelyä koskevista poikkeuksista, vapautuksista ja valvonnasta. Suomen hallitus esittää, että sopimuksen tullessa voimaan Liikenteen turvallisuusvirasto Trafi voisi siirtää yleissopimuksen edellyttämien todistuskirjojen antamisen ja alusten katsastuksen hyväksytyille luokituslaitoksille.

Painolastivesilaitteiston asennus on iso investointi aluksen omistajan kannalta. Täsmällistä arviota suomalaisille aluksille aiheutuvista kustannuksista ei voida tässä vaiheessa esittää, mutta nykyisen Suomen ulkomaanliikenteessä olevan tonniston perusteella on arvioitu, että kustannukset olisivat yhteensä 58 - 64 miljoonaa euroa viiden vuoden aikajaksolla. Aluksen omistajan tulee valita sopiva painolastivesien käsittelymenetelmä sen mukaan, millä maantieteellisellä alueella alusta aiotaan käyttää (ml. kylmät ilmasto-olot ja polaarialueet).

Laitteistojen toimivuusongelmat sekä ylläpidon ja varaosien saatavuus ovat merkittäviä riskejä etenkin kylmissä oloissa polaarialueilla. Painolastivesien käsittelyteknologia ”elää” koko ajan; teknologiaa tarjoavia yrityksiä syntyy ja kuolee, mikä on erityisesti vanhojen laitteiden toimivuudelle, huolloille ja varaosien saannille ongelmallista. Painolastivesilaitteistoja koskevat tyyppihyväksyntämuutokset aiheuttavat ongelmia etenkin käsittelylaitteiden valmistajille. Laitteiden kysyntä on vielä melko vähäistä, mutta kiihtyy voimakkaasti säästöjen tullessa voimaan. Käsittelylaitteistot vievät lastitilaa. Haasteena onkin löytää toimiva järjestelmä polarioloihin sekä varmistaa laitteiston painolastiveden käsittelykapasiteetti aluksilla, joissa painolastiveden määrä on suuri (esim. öljytankkerit).

Suomen Varustamot ry on vaatinut Itämeren erityispiirteiden ja lähimerenkulun rajoitteiden huomioimista painolastivesiyleissopimuksen soveltamisessa. Painolastivesien näytteenoton osalta sekä painolastivesien käsittelylaitteiden suhteen on vielä ratkaisemattomia kysymyksiä, joihin varustamot toivovat elinkeinon näkökulman huomioimista. Varustamot kokevat tärkeäksi saada tietoa vapautusten myöntämiskriteereistä ja mahdollisuuksista saada vapautus tarpeen vaatiessa.

Viranomaisten näkökulmasta painolastivesilaitteiden toiminnan valvontaan liittyvä näytteenotto on haasteellista. Näytteenottomahdollisuus tulee olla käsittelylaitteistossa, mutta näytteenottoa hankaloittavat erilaiset käytännön ongelmat, esimerkiksi erilaiset venttiilikoot ja tilajärjestelyt näytteenottopaikalla.



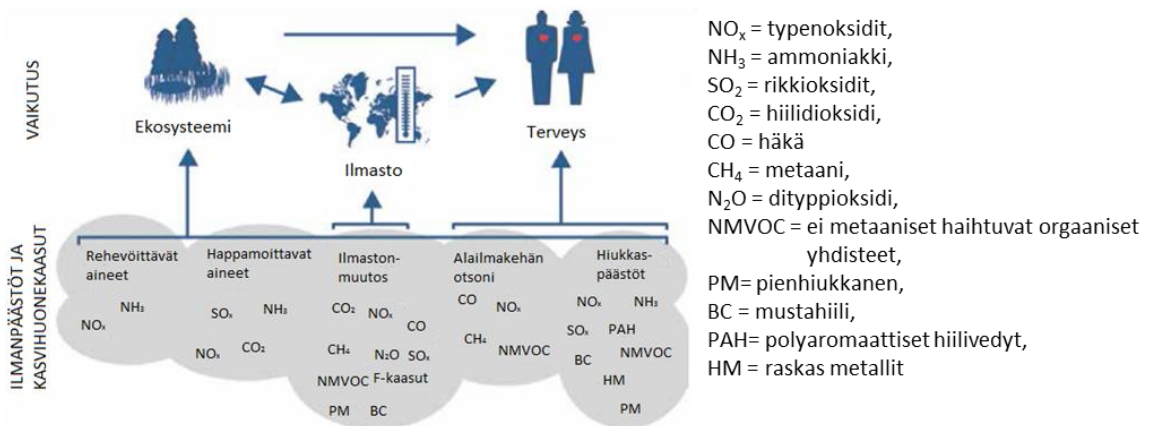
Jatkoselvitystarpeiksi nousivat mm. painolastivesien käsittelyjärjestelmien ”lastentautien” selvittäminen, testausolosuhteiden puutteellisuus sekä vapautusten myöntämiskriteerit. Land-based testauspaikkoja on vähän, mikä voisi olla myös mahdollisuus Suomelle profiloitua. Yleissopimuksen voimaantulolla voi olla myös myönteisiä vaikutuksia suomalaiselle meriteknologiateollisuudelle (clean tech), kun markkinat uusille painolastiveden käsittelyjärjestelmille laajenevat. Tällä hetkellä Suomessa Wärtsilä on ainut painolastiveden käsittelylaitteiden valmistaja Auramarinen keskeytettyä käsittelylaitteistojen valmistuksen.

Mikäli ilman painolastivettä kulkevien aluksien kehittäminen onnistuu, se ratkaisisi monta ongelmaa etenkin polaarialueilla tulevaisuudessa liikennöivien varustamojen kannalta. Painolastitomien aluskonseptien kehittäminen on kuitenkin vielä alkuvaiheissaan. Haasteina ovat näiden alusten ominaisuuksien yhteensovittaminen voimassa olevien aluksia koskevien niin teknisten (mm. jääluokat, vakaus) kuin muiden säädösten kanssa.

Painolastivesien käsittelylaitteisiin sekä näytteidenottoon liittyy yhä ratkaisemattomia kysymyksiä, joihin ratkaisuehdotuksia ei puutteellisen tiedon vuoksi ole. Varustamojen näkökulmasta pahinta on vaatimus järjestelmästä, joka ei vielä toimi kunnolla ja johon muuttuvien säännösten vuoksi vaaditaan lisä- tai uusinvestointeja.

## 6. LYHYTIKÄISEN MUSTAHILIPÄÄSTÖN TORJUNTAMENETELMÄT

Laivojen ilmanpäästöistä suurin osa eli noin 70 % muodostuu merellä. Jopa 400 km päässä rannikosta liikkuvien laivojen päästöillä on vaikutusta rannikkoalueen yhteisöihin. [Corbett 2007] Satamassa työskentely eli lastaus ja purku ovat myös merkittävimpiä ilmanpäästöjä merivesialueella. Näiden aktiviteettien seurauksena muodostuu ympäristöön haitallisia ilmanpäästöjä ja kasvihuonekaasuja. Tällaisia ilmanpäästöjä ovat polttoaineen epätäydellisen palamisen seurauksena tai ilmakehässä reagoineet polttoaineperäiset päästöt, kuten typenoksidit ( $\text{NO}_x$ ), rikkioksidit ( $\text{SO}_x$ ), kasvihuonekaasut eli hiilidioksidi ( $\text{CO}_2$ ), metaani ( $\text{CH}_4$ ), ja dityppioksidi ( $\text{N}_2\text{O}$ ) ja pienhiukkaset (PM). [Suomen Varustamot 2011, Kirjonen 2013] Kuvassa 6.1 esitetään, miten päästöt ilmaan ja kasvihuonekaasut aiheuttavat rehevöitymistä, happamoitumista, ilmastonmuutosta sekä muodostavat alailmakehän otsonia ja hiukkaspäästöjä. Näillä päästöillä on vaikutusta ekosysteemeihin, ilmastoon sekä terveyteen. [Euroopan ympäristökeskus, 2014] Laivojen Ilmanpäästöihin vaikuttavat mm. moottoritehokkuus, ajonopeus ja käytettävä polttoaine.



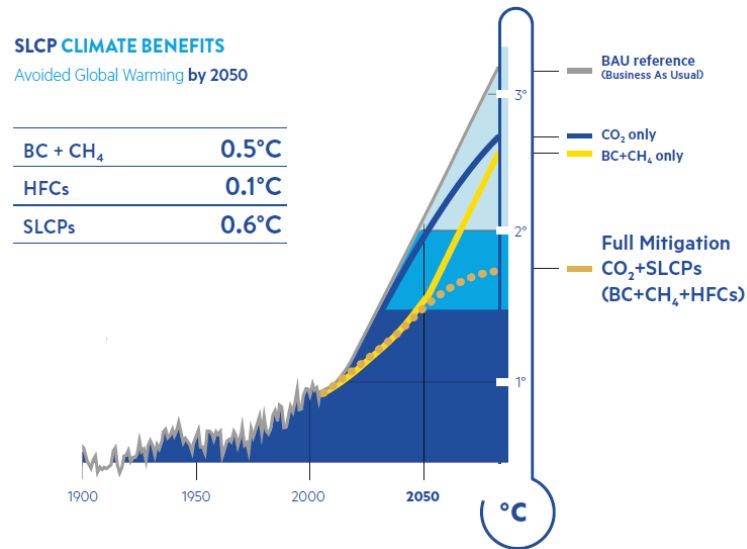
Kuva 6.1 Ilmanpäästöjen sekä kasvihuonekaasujen vaikutukset ekosysteemiin, ilmastoon sekä ihmisten terveyteen [Euroopan ympäristökeskus, 2014]

Kasvihuonekaasujen, etenkin hiilidioksidin ( $\text{CO}_2$ ), vaikutus on maailmanlaajuinen ja niiden elinikä voi olla pitkä. Suurimpana huolena polaarialueilla ovat lyhytikäiset ilmastonvaikutteiset ilmansaasteet (short lived climate forcer, SLCF), kuten mustahiili sekä otsonin ja metaanin muodostuminen troposfäärissä. [Ilmastopaneeli 2014, Vihanninjoki 2014]

**Lyhytikäiset ilmastonvaikutteiset ilmansaasteet (SLCF) pysyvät ilmassa joitakin päiviä tai korkeintaan viikkoja. Varsinaiset kasvihuonekaasut vaikuttavat ilmassa vuosikymmeniä tai jopa yli vuosisadan. Lyhytikäisten päästöjen vaikutus riippuu vuodenajasta sekä alueesta, koska ne eivät sekoitu täydellisesti ilmakehässä.**

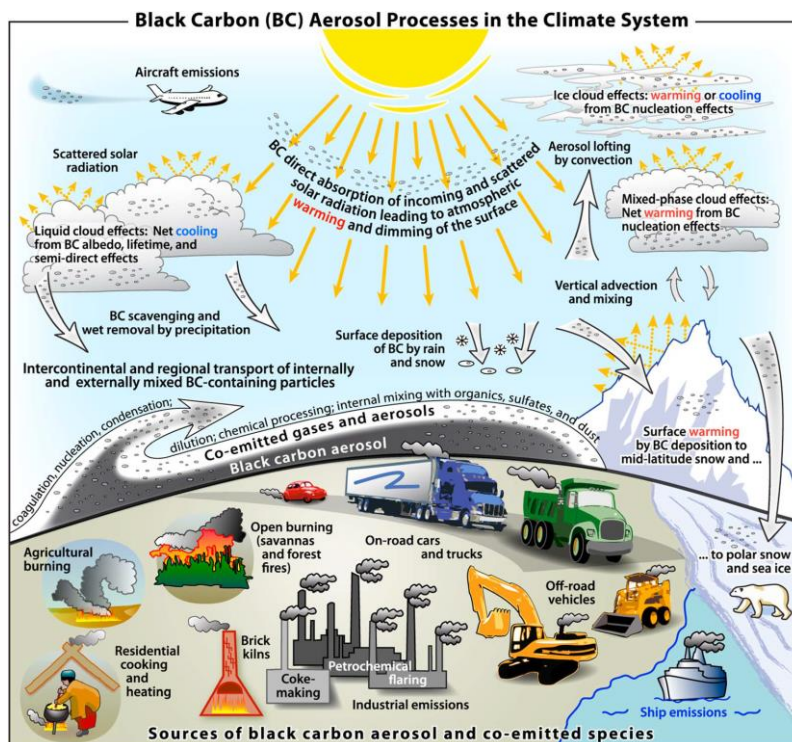
SLCF-päästöillä, kuten myös kasvihuonekaasuilla, on vaikutusta ilmaston lämpenemiseen. Kuvassa 6.2 esitetään, miten  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  ja mustahiilipäästöjen arvioidaan lämmittävän ilmastoa vuosina 2009–2070 suhteutettuna esiteollisen ajan vuosiin 1890–1910. [UNEP/WMO 2011 ja CCAC 2015]. Yhdistyneiden kansakuntien ilmastopöytäkirja (UNFCCC) solmittiin Pariisin ilmastokokouksessa joulukuussa 2015. Uuden, kattavan ja oikeudenmukaisesti sitovan ilmastopöytäkirjan tavoitteena on vähentää päästöjä maailmanlaajuisesti vuodesta 2020 alkaen. Maapallon keskilämpötilan nousu tulee rajoittaa selvästi alle  $2^\circ\text{C}$  ja pyrkiä toimiin,

joilla lämpeneminen saataisiin rajattua alle 1,5 °C. Yhteensä nämä sitoumukset kattavat yli 95 % maailman päästöistä. [YM 2015]



Kuva 6.2. Havaittu lämpötilan muutos vuoteen 2009 ja ennustettu lämpötilan muutos vuoteen 2070 hiilidioksidin (CO<sub>2</sub>), metaanin (CH<sub>4</sub>) ja musta hiili, sekä näiden yhdistelmien päästöistä suhteutettuna vuosien 1890-1910 keskiarvoon. [CCAC 2015]

Polaarialueet ovat lämpenemässä kaksi kertaa nopeammin kuin maapallon muut alueet. Syytä tähän on etenkin lumi- ja jääpeitteen nopea kutistuminen. Lumen ja jään hävitessä auriongsäteilyä imeytyy alta paljastuneisiin tummiin pintoihin, mikä lämmittää aluetta entisestään. [Rubbel 2015, Vihanninjoki 2014] Jään sulaminen mahdollistaa laivaliikenteen entistä laajemmilla alueilla polaariloissa. Arktisen alueen laivaliikenteen oletetaan kasvavan vuoteen 2050 mennessä n. 1.8-5 % [AMAP 2015]. Kasvu riippuu vakiintuneiden merireittien kapasiteetista ja uuden reitin kustannuksista verrattuna olemassa oleviin reitteihin nähden. Uusien laiva-reittien avautuminen varsinkin arktiselle alueelle edellyttää suotuisia jääoloja, olosuhteisiin soveltuvan kaluston saatavuutta, sopivaa polttoainetta ja jäänmurtopalveluiden hintaa sekä reittejä koskevan hallinnollisen tilanteen ja turvallisuutta parantavien rannikkoinfrastruktuurin ja pelastuskaluston paranemista nykyisestä [AMAP 2015, Vihanninjoki 2014].



Kuva 6.3. Mustahiilipäästön monitahoinen vaikutus maapallon ilmastoon. [Bond et al. 2013]

**Maailmanlaajuisesti arktisen alueen laivaliikenteen mustahiilipäästöt ovat vain murto-osa kaikista ihmisperäisistä ilmanpäästöistä**, kuten kuvasta 6.3 havaitaan. Suurimmat mustahiilen päästölähteet ovat metsä- ja savannipalot ja kaskeaminen, kiinteän polttoaineen käyttö ruuanvalmistukseen ja lämmityksen, dieselkäyttöinen liikenne ja teollisuus. Laivaliikenteen lisäksi öljynporauksen yhteydessä tapahtuva soihdutus on merkittävä mustahiilen päästölähde jo nyt. [Bond 2013] Vaikka laivaliikenteen osuus mustahiilipäästöistä on pieni, laivaliikenteen ennakoitun kasvun vuoksi kyse on merkittävästä päästölähteestä. Laiva-liikenteen ja muun ihmistoiminnan aiheuttamiin päästöihin voidaan vaikuttaa kansainvälisellä sääntelyllä.

Mustahiilen ilmastovaikutukset on kansainvälisesti huomattu. Mustahiilipäästöjen vähentämisestä on keskusteltu mm. Arktisen neuvoston, YK:n talouskomission kaukokulkeumasopimuksen (UNECE-CLRTAP) sekä ilmastoneuvottelujen yhteydessä. Arktinen neuvoston AMAP (Arctic Monitoring and Assessment Programme) -työryhmän alaisuuteen on perustettu asiantuntijaryhmä selvittämään lyhytikäisten ilmastovaikutteisten ilmansaasteiden vaikutuksia arktiseen ilmastoon. Arktinen neuvosto on puitesopimuksessaan omaksunut uudet tavoitteet mustahiilen ja metaanin vähentämiselle [Arctic Council 2015]. Sopimus velvoittaa arktisia valtioita ja neuvoston toimintaan osallistuvia muita jäsenmaita lisäämään kunnianhimoisia, kansallisia ja kollektiivisia toimenpiteitä mustahiilipäästöjen alentamiseksi sekä merkittävästi vähentämään kokonaismetaanipäästöjä. Valtioiden tulee lisäksi parantaa mustahiilen ja metaanin päästömääriä koskevia inventaarioita sekä niihin liittyvän tiedon laatua ja läpinäkyvyyttä. [Arctic Council 2015, CCAC 2015] Myös Suomi raportoi mustahiili- ja metaanipäästöistä Arktiselle neuvostolle [Kupiainen & Rautalahti 2015]

Arktisen neuvoston PAME (Protection of the Arctic Marine Environment) -työryhmä työskentelee arktisen merenkulun ympäristö- ja turvallisuusasioiden parissa. Polaarikoodin kehitystyön myötä PAME-valtiot ovat tiivistäneet yhteistyötään myös IMOssa. PAME-työryhmä pyrkii omalla toiminnallaan vauhdittamaan Polaarikoodin valmistumista. PAME-työryhmässä on mietitty myös tehokkaita toimia Polaarikoodin toimeenpanemiseksi ja mahdollisia lisätoimia

meriturvallisuuden parantamiseksi ja ympäristön suojelemiseksi. PAME-työryhmä laati vuonna 2009 hyväksytyin Arctic Marine Shipping Assessment (AMSA) -raportin, jossa annettiin 17 suositusta arktisen merenkulun turvallisuuden parantamiseksi ja ympäristön suojelemiseksi. Suosituksissa on mukana mustahiili-inventaarioiden luomisessa ja SLFC-päästöjen vähentämisessä. [Trafic 2015, AMSA 2015]

Arktisen neuvoston työryhmien lisäksi on perustettu erillinen Ilmasto- ja puhtaan ilman kumppanuuskoalitio (Climate and Clean Air Coalition, CCAC), jonka painopisteenä mustahiilipäästöt ovat. Suomi on osallistunut CCAC:n toimintaan ja on raportoinut sen ad hoc -työryhmälle mustahiilipäästöistä vapaaehtoisesti. Muita Suomen kannalta tärkeitä mustahiilipäästöjen rajoittamiseen pyrkiviä liittyviä yhteistyöelimiä ovat YK:n alaisten järjestöjen kansainvälisen merenkulkujärjestö IMO:n sekä YK:n ympäristöohjelman UNEP:in (United Nations Environment Programme) ja Maailman ilmastojärjestö WMO:n (World Meteorological Organization) arviointiraportit, pohjoismaainen yhteistyö sekä WHO:n terveysvaikutustyö. Hallitustenvälinen ilmastomuutospaneeli (IPCC) on käsitellyt mustahiilen ilmastovaikutuksia tieteelliseltä kannalta jo useassa arviointiraportissaan. [Kupiainen 2015, Ilmastopaneeli 2014]

**Suomi on jäsen ja toimii aktiivisesti käytännössä kaikissa mustahiiltä ja muita lyhytikäisiä ilmastoon vaikuttavia aineita koskevissa prosesseissa.** Suomen arktisessa strategiassa (2013) mustahiili on mainittu seuraavasti: ”Tuetaan arktisten alueiden lyhytikäisten ilmastomuutosta nopeuttavien ilmansaasteiden, erityisesti mustahiilen, vähentämiseen tärkeitä kansainvälisiä yhteistyöhankkeita sekä mustahiilipäästöjen vähentämisen toimintaohjelman laatimista, ja vähennetään Suomen aiheuttamia päästöjä.”

## 6.1 Mustahiili: määritelmä, ominaisuudet ja mittaus

Mustahiili on lyhytikäinen ilmastovaikutin (short-lived climate forcer SLCF) tai lyhytikäinen ilmansaaste (short-lived climate pollutant, SLCP), jolla on suurempi vaikutus polaarialueiden ilmastoon kuin hiilidioksidilla. Mustahiili imee itseensä auringon valoa ja lumen tai jään pintaan kertyessään sulattaa jäätä. Mustahiilipäästöstä puhuttaessa haasteellisinta on ollut määrittää yksiselitteisesti mitä termi tarkoittaa. Mustahiilipäästön määrittely on tärkeää, jotta mittaus- ja päästötorjuntateknologioiden käyttäminen olisi tarkoituksenmukaista ja kustannustehokasta.

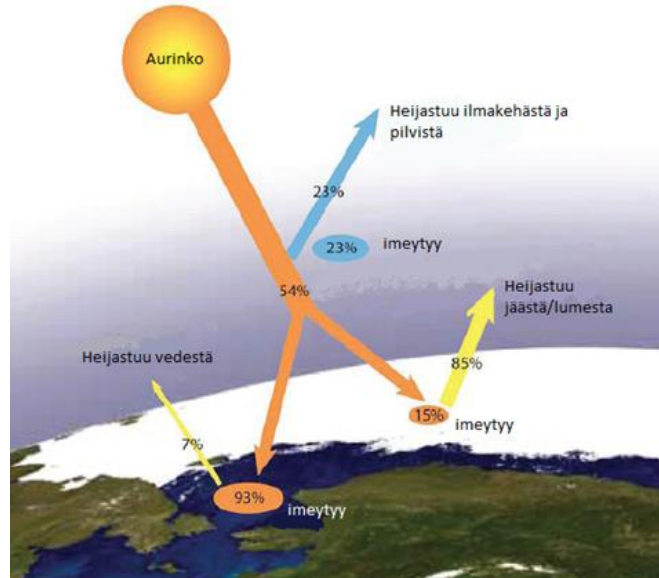
Kansainvälisen merenkulkujärjestö IMO:n Meriympäristökomitea (MEPC) on hyväksynyt kokouksessaan [IMO 2015b] Bond et al. (2013) määritelmän mustahiilipäästölle:

***Mustahiili (BC) on hiilipohjaisen polttoaineen epätäydellisessä palamisprosessissa muodostunut kiinteä hiilipitoinen aine, joka ilmakehään välittömästi päästessään pystyy imemään itseensä eli absorboimaan voimakkaasti auringon kaikkia näkyvän valon pituuksia. Mustahiilen painosta on yli 80 % hiiltä, joista suurin osa kaksoissidoksilla ( $sp^2$ ) olevaa. Ilmakehässä hiilihiukkaset keräytyvät palloksi, jonka aerodynaaminen läpimitta on 20-50 nm. Tuore mustahiili imee itseensä 550 nm aallonpituutta 5 m<sup>2</sup> grammaa kohti. Mustahiilihiukkasen kyky imeä valoa riippuu sen koostumuksesta, muodosta, kokojakaumasta ja hiukkasen sekoittumistilasta.***

Ilmastovaikutukset, joita mustahiilipäästöistä aiheutuu, ovat joko suoria tai epäsuoria (kuva 6.4). Päästöjen vaikutukset ilmastoon jaetaan kolmeen kategoriaan [Ilmastopaneeli 2014]:

1. Leijuessaan ilmassa mustahiili imee auringonvaloa ja siten lämmittää ilmakehää (suora vaikutus)

2. Mustahiili vaikuttaa pilvien ominaisuuksiin (epäsuora vaikutus)
3. Mustahiili lumen ja jäänpäällä ollessaan imee valoa ja lämmittää, mikä nopeuttaa sulamista (lumivaikutus).

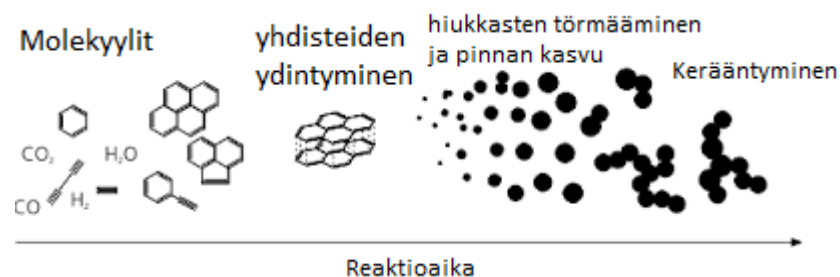


Kuva 6.4. Mustahiilenvaikutus ilmastoon [AMAP 2011]

Polaarialueilla lumivaikutus on suurin mustahiilen aiheuttama ilmastovaikutus. Maailmanlaajuisesti lumivaikutuksen arvioidaan olevan jopa prosentin luokkaa. Suomen globaali suora ja epäsuora mustahiili-ilmastovaikutus on sen sijaan vain noin promillen luokkaa. Arviot perustuvat ilmastosimulaatiolaskelmiin. Suomen suurin mustahiilen lähde on puun pienpoltto. [AMAP 2008 ja 2011, Ilmastopaneeli 2014]

### 6.1.1. Mustahiilen muodostuminen

Mustahiiltä muodostuu fossiilisen, biomassan ja biopolttoaineen epätäydellisessä palamisessa. Polttoaineen kaasumaiset hiilivedyt, kuten bentseeni ja sykliset aromaattiset hiilivedyt, toimivat lähtöaineena kiinteän hiiliytimen muodostumiseen. Reaktioaika, joka vaaditaan molekulaaristen yhdisteiden ydintymiseen (nukleaatio), hiukkasten törmäämiseen (koagulaatio) sekä keräytyminen (aggregaatio), on hyvin lyhyt (kuva 6.5). Mustahiili on ns. primäärinen partikkeli mikä tarkoittaa, että se on ilmakehään päästessään kiinteässä muodossa. Mustahiili on muodostuessaan hydrofobinen eli se hylkii vettä. Tämä vaihe kestää vain tunteja. [AMAP 2015]

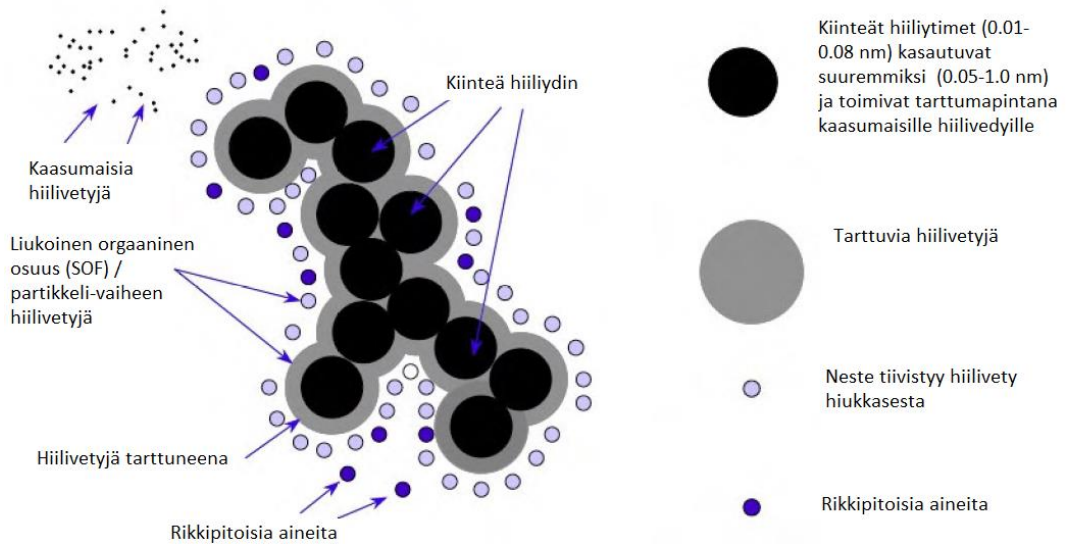


Kuva 6.5. Mustahiilen muodostuminen molekyylitasolta, hiukkasten yhdyntymiseen, törmäämiseen ja kerääntymiseen. [Bengtson 2015]

Sekundääristen mustahiilipartikkeleiden muodostuminen tapahtuu vasta ilmakehässä. Hiiliytimien kasvaessa suuremmiksi ne toimivat pintana, johon voi tarttua kaasuvirrasta lisää hiiliveytyjä. Hiukkanen kasvaa, mutta myös tiivistyy, koska neste tiivistyy ja haihtuu pois. Vesiliukoiset rikkiyhdisteet tarttuvat hiukkasen pinnalle ja jäävät siihen, kunnes neste haihtuu pois.



Näin ollen kaasuvirrassa olevan vesiliukoisen rikkiyhdisteen määrällä on suuri vaikutus partikkelikokoon sekä sen kemiallisiin ominaisuuksiin. Mustahiili muuttuu ikääntyessään hydrofiiliseksi tai hygroskooppiseksi eli aineeksi joka pystyy imemään ilmasta kosteutta. **Mustahiili on siis pienhiukkasen ydin.** Kuvassa 6.6 havainnoidaan partikkelin muodostumismekanismeja. [Twigg 2009]



Kuva 6.6. Partikkelin muodostuminen kaasumaisista hiilivedyistä [Twigg 2009].

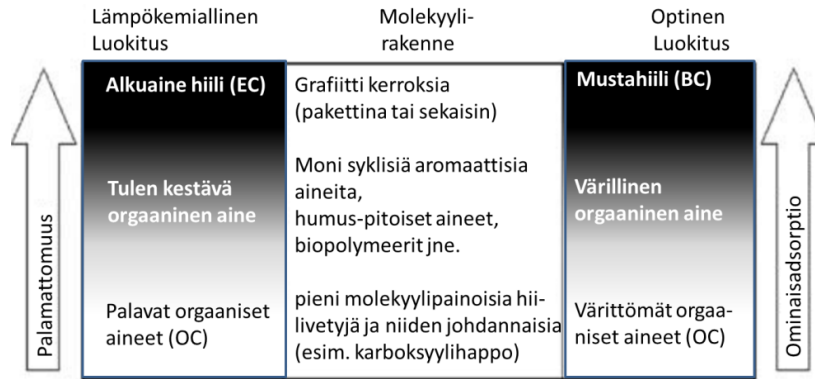
### 6.1.2. Mustahiilen ominaisuuksia

Laivojen savukaasu näyttää joskus mustalta, mikä johtuu mustahiilipäästöstä. Noki -termiä on yleisesti käytetty poltosta muodostuvasta mustasta, joka koostuu usein hiilipitoisista partikkeleista. Noki voi kuitenkin sisältää myös orgaanista hiiltä (OC), mineraaleja (tuhka) ja alkuainehiiltä (EC). Hiilipitoinen savupartikkeli voi imeä itseensä vain osan valoa, mikä saa savun näyttämään ruskealta. Alkuainehiili (EC) määritellään aineeksi, joka ei sisällä muuta kuin hiiltä, mutta joka voi olla yhdessä tai useammassa muodossa. Esimerkkinä EC-materiaaleista mainittakoon timantti, hiilinanoputket, grafiitti tai fullereenit. EC ja BC ovat siis aineita, joilla on erilaisia optisia ja fysikaalisia ominaisuuksia, kuten taulukossa 6-1 ja kuvassa 6.7 havaitaan. [Petzold et al. 2013, Pöschl 2003]

### Taulukko 6-1. Mustahiilen ominaisuuksia <sup>4</sup>

Ominaisuus	Tarkoittaa	Aiheuttaa
Valon imukyky	Tuore mustahiili imee itseensä (absorboi) näkyvää valoa, jonka aaltoluku on $\lambda = 550\text{nm}$ , imuteho (mass adsorption efficiency) on $5\text{ m}^2/\text{g}$ .	Pilvien, lumen ja jään heijastussuhde alentuu, jolloin valloin on vaikutuksia ilmastoon ja valon heijastukseen.
Lämmönkesto	Kestää hyvin lämpöä haihtumislämpötila n. $3700\text{ °C}$	Viipymäaika pidempi
Liukoisuus	Ei liukene veteen, orgaanisiin liuottimiin (pois lukien metanoli ja asetoni), tai muihin ilmakehän aerosoleihin (kiinteä partikkeli kaasufaasissa).	Mikäli eivät ole kerrostuneet vesiliukoisilla yhdisteillä, poistuvat pilvissä tai sateissa hitaasti, jolloin pidempi ilmakehän viipymäaika.
Muoto	Ilmakehässä mustahiili-ytimet kasaantuu (aggretoituu) pieneksi hiilipallo palloksi, jonka aerodynaaminen läpimitta $10 - 50\text{ nm}$ ja pinta-ala on yli $100\text{ m}^2/\text{g}$ .	Muut aineet helposti tarttuvat
Rakenne	Sisältää 80% painosta hiiltä, suuren osuuden grafiittityyppistä hiili atomia, joista suurin osa kaksoissidoksella ( $\text{sp}^2$ )	Ilmakehässä alhainen reaktiivisuus. Siirtyä hitaasti kemiallisista prosesseista, voimakas optinen imeminen

<sup>4</sup> Bond et al. 2013, Petzold 2013, ICCT 2014.



Kuvassa 6.7. Mustahiilen (BC) ja alkuaine hiilen (EC) niiden välisiä eroja lämpökemiallisen ja optisen luokituksen perusteella. [Pöschl, 2003]

### 6.1.3. Mustahiilen mittaus

Mustahiilen mittausmenetelmät perustuvat sen optisiin tai lämpökemiallisiin ominaisuuksiin [ICCT 2014]. Useimmissa mittausmenetelmissä kuuma savukaasu täytyy ensin jäähdyttää ennen mittaamista. Jäähdyminen kuitenkin vaikuttaa mustahiilen ominaisuuksiin, etenkin siihen kuinka paljon mustahiilen ympärille ehtii tarttua ympäristöstä muita aineita. Tämä vaikeuttaa mittauksen luotettavuutta. Siksin:

**eri mittausmenetelmien tulosten vertaamisessa keskenään olisi tärkeää määrittää mittaukselle tarkat standardit.** [CIMAC 2012]

Tämä tarkoittaa, että 1) mittaukset ovat toistettavia ja luotettavia, 2) mitattava näyte edustaa vastaavaa oikeaa pitoisuutta, 3) huomioi koko mittauskäsittelyn eikä vain analysointia, ja 4) menetelmä on kalibroitu, jolloin eri laitteilla saatujen tulosten vertaileminen on luotettavaa [ICCT 2014].

**Mikäli mustahiillelle ei ole mittausmenetelmää saatavilla, käytetään PM mittausmenetelmää, mikäli puhdistusmenetelmä soveltuu molemmille.** [IMO raportti 2015].

Mustahiilen mittausmenetelmäkehitystutkimusta tehdään Suomessa mm. Tekes'in rahoittamassa SEA EFFECT BC -projektissa (2015–2016), jossa on mukana mm. VTT, Tampereen teknillinen yliopisto, Ilmatieteenlaitos sekä Turun yliopisto. Mittausmenetelmissä mustahiili -termiä käytetään kvalitatiivisena kuvauksena viittaamaan valoa adsorpoivaan hiilipitoiseen yhdisteeseen (LAC). Raportoitavana tuloksena saadaan yleensä alkuainehiili (EC) tai ekvivalentti mustahiili (eBC) laskettuna hiukkasen valon adsorption vakiolla  $\delta_{ap}$  perustuen massaspesifiseen adsorptiopoikkileikkausarvoon (MAC). Liitteessä 1 on kerrottu lyhyesti muutamista mustahiilen mittausmenetelmistä.

EU-projektissa ACCESS (The European Arctic Climate Change, Economy, and Society) on lentokonekampanjakokeilla tutkittu Ihmisen aiheuttamia SLCF-päästöjä, kuten mustahiili (rBC, refractory black carbon), otsoni, typen oksidit ja rikinoksidit, öljyn- ja kaasunporauslautoilta sekä laivoista arktisella alueella. [Roiger et al. 2015] Kirjoittajat kritisoivat mustahiilen



määritelmän tulkinnanvaraisuutta<sup>5</sup>. Lisäksi koska lennot ovat tehty vain muutamana päivänä kesällä 2012, ne eivät anna selkeää kokonaiskuvaa arktisen alueen mustahiilipitoisuudesta.

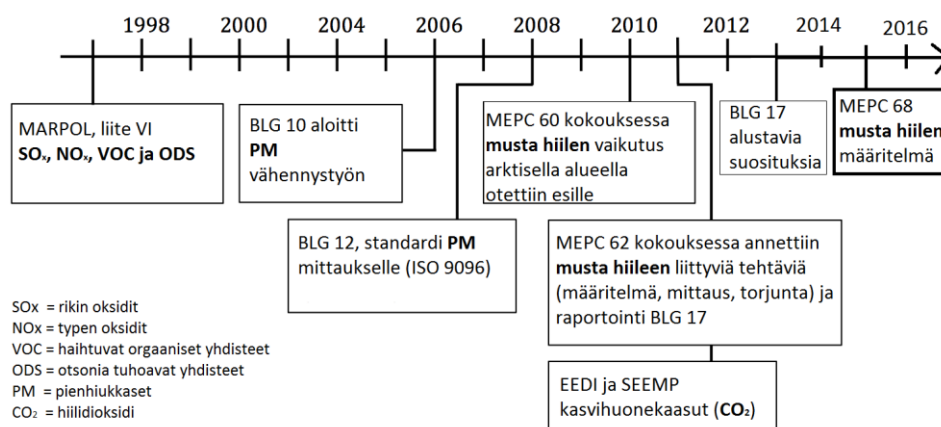
Myös jään ja lumen päältä sekä järvien sedimentistä on kerätty näytteitä arktiselta alueelta, [esimerkiksi Rubbel 2015]. Kerätty lumi sulatetaan ja sen jälkeen käytettävästä mittaustuloksesta riippuen joko analysoidaan suoraan tai suodatetaan ensin. Tulosten vertaaminen on hankalaa, koska tutkijoiden käsitykset mustahiilen kulkeutumisen ja muodostumismekanismista ja tutkimusohjelman liittyvät tekijät vaikuttavat mittausten järjestämiseen ja sitä kautta mittaustuloksiin.

Polaarialueiden lämpenemisen vähentämiseksi tarvitaan luotettavia ja systemaattisia mustahiilipäästömittauksia maailmanlaajuisesti, jotta voidaan kehittää, arvioida ja parantaa päästöinventaariota, kulkeutumismalleja sekä vähentämisstrategioita. Arktiselta alueelta on hyvin vähän tietoa mustahiilestä troposfäärissä, koska pitkäajan mittaustulokset ovat rajoittuneet pintamittauksiin, sekä muutama aurinkofotometriin ja LIDAR<sup>6</sup>-paikkoihin. [AMAP 2015] Rubbel (2015) havaitsi väitöskirjatyössään nokilaskeumatuloksissa poikkeamia eri mittaustulosten välillä. Tämä osoittaa, ettei paikallisia mittauksia voi välttämättä yleistää laajemmalle alueelle ja että lisää tutkimuksia tarvitaan alueellisesti laajemmän arktisen noen laskeumahistorian todentamiseksi. Lisäksi on korostettava varovaisuutta vertailtaessa eri analyysimenetelmillä saatuja tuloksia.

Automaattinen tunnistusjärjestelmä (AIS) on satelliittipaikannuksen avulla kerättyä tietoa laivan sijainnista, kurssista ja nopeudesta. AIS-aineiston avulla on arvioitu laivaliikenteen päästöjä Itämeren alueella [Jalkanen 2014] ja aineiston avulla voidaan laskea ja visualisoida mustahiilipäästöjä arktisella alueella. [Mjelde 2014, Winther 2014]

## 6.2 Mustahiilipäästöjen vähennyskeinot

Laivojen ilmanpäästöjen hallinta on merkittävää sekä ympäristön että ihmisten terveyden kannalta, kuten kuvasta 6.1 havaitaan. Lainsäädäntö ja yhtenäiset kansainväliset yhteissopimukset, kuten kansainvälinen sopimus laivapäästöjen ehkäisemiseksi (MARPOL, liite VI), ovat merkittävässä roolissa velvoittaessaan meriliikennettä välttämään päästöjä. Mustahiilen vaikutus arktisella alueella on otettu esille IMO:n MEPC 60 kokouksessa vuonna 2010, mutta työ jatkuu edelleen, kuten kuvassa 6.7 havaitaan. [Kristensen 2013]



<sup>5</sup> mittauksissa käytetty 3A-PSAP, SP2-menetelmää

<sup>6</sup> LIDAR eli light detection and ranging on laite, jossa laser-pulssi mittaa ajan ja laskee matkan, joka tulee takaisin heijastuneesta partikkelista.

Kuva 6.7 Kansainvälisen meriorganisaation (IMO) ilmapäästöjen säädökset 1997-2015. (MARPOL = kansainvälinen sopimus laivapäästöjen ehkäisemiseksi, BLG = IMO:n alajaosto Bulk Liquid and Gases, EEDI = energiatehokkuus suunnitteluindeksi, SEEMP = laivojen energiatehokkuus suunnitelma). [muokattu Kristensen 2013]

**Mustahiilipäästöille ei ole vielä olemassa omaa standardoitua puhdistustekniikkaa.**

Mustahiilipäästöjä voidaan epäsuorasti vähentää käyttämällä tai parantelemalla olemassa olevia, muiden päästöjen vähentämiseen kehitettyjä menetelmiä. IMO listasi mustahiilen torjuntamenetelmille ns. pitkän listan perustuen tekniikan todennäköisyydelle puhdistaa kaasuvirtaa [IMO Raportti 2015]:

- polttoainetehokkuus (aluksen suunnittelu, moottori valinnat sekä aluksen ohjaus)
- matkanopeuden alentaminen
- polttoaineen käsittelyt
- polttoaineen laatu (perinteiset polttoaineet)
- vaihtoehtoiset polttoaineet
- pakokaasu käsittelyt

IMO on myös laatinut ns. lyhyen listan mustahiilen torjuntamenetelmistä. Laatomperusteina on miten torjuntamenetelmä vaikuttaa muihin päästöihin (CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> ja SO<sub>x</sub>), kuinka nopeasti tekniikka on käytössä kaupallisesti ja miten olemassa olevaa tekniikkaa voidaan jatkokehittää soveltumaan mustahiilipäästöjen vähentämiseen. Lyhyt lista sisältää seuraavat menetelmät:

- matkanopeuden alentaminen ja moottorin uudelleensäätö (slow steaming + derating)
- korkearikkisen dieselöljyn korvaaminen vähärikkisemmällä (HFO → MDO)
- nesteytetty maakaasu (LNG)
- pesurit
- vesi-polttoaine-emulsio (WiFE)
- partikkelisuodattimet (DFP)

Tärkein menetelmä torjua laivojen ilmanpäästöjä on estää niiden muodostuminen kokonaan, jolloin **operatiiviset menetelmät (ensisijaiset)** ovat potentiaalisin vaihtoehto. Moottorin tehokkuudella, uusilla potkuriratkaisuilla, sekä laivan nopeuden alentamisella vaikutetaan laivan ilmanpäästöjä muodostumiseen. Lisäksi laivojen vaihtoehtoiset polttoaineet, jotka sisältävät vähemmän tyyppiä ja rikkiä verrattuna raskaaseen polttoöljyyn, voisivat olla tehokas keino ilmanpäästöjen hallintamenetelmiksi.

**Teknisissä menetelmissä (toissijaiset)** käytetään puhdistustekniikoita poistamaan laivan pakokaasusta jo muodostuneet haitalliset ilmanpäästöt. SO<sub>x</sub>- ja NO<sub>x</sub>- päästöt ovat jo lainsäädännöllisesti säädeltyjä, joten suurin osa kaupallisista teknillisistä poistomenetelmistä keskittyy näihin päästöihin. Tällaisia poistotekniikoita ovat pakokaasupesurit (EGS) ja selektiivinen katalyyttinen pelkistys (SCR). [Kristensen 2013, Vihanninjoki 2014 & 2015, Azzara 2015]

Liitteellä 2 on koostettu teknologia ehdotuksia laivapäästöjen ja niiden soveltuvuudesta mustahiilen torjumiseen. [Lack 2012, CIMAC 2012].

## 6.3 Operatiiviset menetelmät: energiatehokkuus ja vaihtoehdot polttoaineet

Energiatehokkuussuunnitteluindeksi (EEDI) velvoittaa varustamoita tehostamaan laivan käyttöä ja samalla vähentää kasvihuonekaasuja. Laivojen energiatehokkuuteen voidaan vaikuttaa laivan suunnittelulla, moottorioptiolla sekä valvontaoptiolla. **Päätavoitteena on vähentää laivan polttoaineenkulutusta ja siten ilmanpäästöjen muodostumista.** Laivan suunnittelussa huomioidaan aluksen rakenne, kuten runko, ilmanvastus, vedessä kulkukyky ja paino jne. Valvontaoptiossa suunnitellaan laivan reitti sekä huomioidaan mahdolliset jää- ja sääolosuhteet. Moottorioption tavoitteena on tehostaa polttoaineen palamista käyttäen mm. liukuventtiiliä (slide valve) ja polttoaineruiskun säätämistä. [Lack 2012, Di Natale & Carotenuto 2015]

Esimerkkejä suomalaisten innovaatiosta on mm. apupurjelaite, jonka käyttö on havaittu olevan merkittävän energiatehokas (Norsepower Oy Ltd). Oikeissa tuuliolosuhteissa Norsepower Rotor Sails sallii moottoreiden vähentää kaasua, jolloin säästetään polttoainetta ja samalla päästöjen määrä vähentyy, vaikka laivan nopeus ja matkustus aika eivät muutu. Fart-hom Maritime Intelligence on myöntänytkin syyskuussa 2015 palkinnon Norsepower Oy Ltd:lle. [Norsepower 2015]

Taulukossa 6-2 on koottuna muita esimerkkejä laivan energiatehokkaista moottori-, potkuri-, voimansiirto- ja muista ratkaisuksista, jotka soveltuvat laivanrakentajille tai -suunnittelijoille, kuten Arctech Helsinki Shipyard Oy, Deltamarin Oy, Elomatic Marine Engineering Oy, Foreship Oy, Meyer Turku Oy ja Rauma Marine Constructions Oy. Tiedot tuotteista on poimittu valmistajan verkkosivuilta. Valmistajat ovat valikoitu Meriteollisuus Ry:n jäsenlistalta.

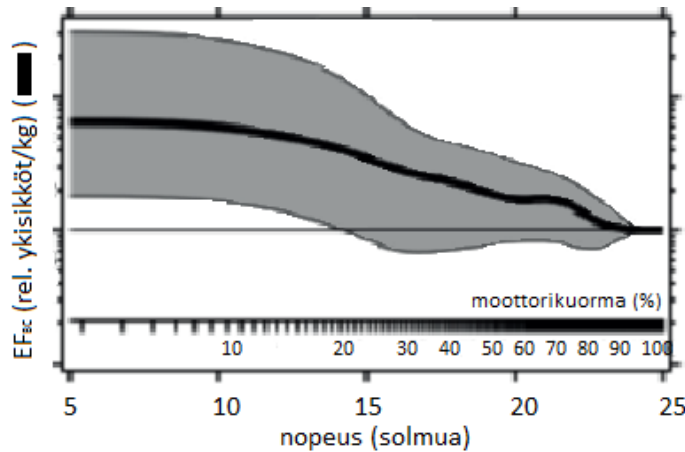
### Taulukko 6-2 Suomalaisia meriteollisuuden energiatehokkaita innovaatioita.

Tuote	Kuvaus:	Valmistaja:
Opti Design	potkuri-malli	Wärtsilä Oy
Potkuri	Nial-pronssista valettuja kiinteä- ja säädettäväläpaisia potkureita	TEVO oy
AziPod®-laite	sähkökäyttöinen ruoripotkuri yksikkö laivan ulkopuolelle	ABB Oy (Marine)
Aquamaster	ruoripotkuriyksikkö, jossa on mekaaninen vaihteisto	Rolls-Royce Oy Ab
Azimuth- propulsio	autonominen ruoripotkuriyksikkö (4-20 MW), joka pystyy kääntymään 360°.	Steerprop Oy, Takoma Oy
Energopac	integroitu potkuri ja peräsin ratkaisu, joka tarjoaa optimi käyttövoiman ja ohjauksen merellä seilaaville aluksille	Wärtsilä Oy
High-Efficient Waste Heat Recovery, WHR	korkea tehoinen jätelämmön kierrätys -menetelmä	Wärtsilä Oy
Low-loss concept, LLC	sähkönjakelu systeemi propulsio-laitteelle.	Wärtsilä Oy
AuxPac	generaattorikoneikko lisämoottoreille	Wärtsilä Oy
EMMA™	energiahallinta- ja seurantajärjestelmän mm. Viking line Grace	ABB Oy
We Drive™	Energiatehokkaita ratkaisuja joilla mm. pidetään nopeusvakiona jne. Useita eri ratkaisumalleja riippuen laivasta.	We Tech Solutions Oyj
jääsimulaatio laboratorio	laivan suunnittelua ja testausta. Esimerkkinä jäänmurttajat.	Aker Arctic Technology
CFD-laskenta	Tietokone laskentamallit, joiden avulla saadaan selville esim. laivan runkoratkaisuja	Foreship Oy

#### 6.3.1 Matkanopeuden alentaminen ja moottorin uudelleensäätö (slow steaming with derating, SDDR)

Tyynellä ja jäätömällä avomerellä kulkevan laivan polttoaineen kulutus on suunnilleen verrannollinen matkanopeuden neliöön suurilla nopeuksilla liikuttaessa. Mitä nopeammin laiva liikkuu, sitä enemmän se kuluttaa myös polttoainetta. Matkanopeuden alentaminen 10 %:lla vähentää myös polttoaineen kulutusta noin 27 %:lla, jolloin ilmansaasteita muodostuu vähemmän. Tämä teoriassa, sillä laivan **moottorikuormitus vaikuttaa myös ilmansaasteiden määrään.** Esimerkiksi arktisella alueella laivan moottorikuormitus vaihtelee jopa 25–100% riippuen hyvin nopeasti muuttuvista sää- ja sääolosuhteista sekä jäänmurttamistarpeesta. Esimerkiksi moottorikuormitus voi olla 100 % jos täytyy liikkua ja murtaa jäätä (riippuen jääluokasta).

Kuvassa 6.9 on harmaalla alueella havainnollistettu mustahiilen päästökertoimen ( $EF_{BC}$ , rel., yksiköt/kg) muuttumista riippuen nopeudesta (solmu) ja moottorikuormasta (%).  $EF_{BC}$  on suuri alhaisilla nopeuksilla ja moottorikuormalla. Kun aluksen nopeus sekä moottorikuorma nousevat,  $EF_{BC}$  pienenee merkittävästi. [Lack & Corbett (2012) tekemä kooste kirjallisuustiedoista]



Kuva 6.9. Mustahiilin päästökerroin ( $EF_{BC}$ , rel yksiköt/kg) nopeuden (solmu) funktiona. Nopeus on saamassa suhteessa moottorin kuormitukseen (moottorikuorma, %). [Lack & Corbett 2012]

Moottorin säädöillä voidaan kuitenkin vaikuttaa mustahiilipäästöjen määrään vaikka nopeutta vähennetään. Uusilla teknologioilla, kuten reaaliaikaisella sähköisellä moottorinsäädöllä voidaan parantaa polttoaineen palamista, ja siten mustahiilipäästöjä jopa 30 %. [Lack 2012] Esimerkiksi Wärtilä Oy tarjoaa RT-flex common-rail<sup>7</sup>-moottoreilla toimiviin aluksiin ns. delta-tuning tai low-load tuning -ratkaisuja, joilla alus voi seilata alhaisella nopeudella, mutta energiatehokkaasti, savuttomasti ja pakokaasupäästöjä muodostamatta. [Wärtsilä 2012]

Polttoaineen kulutuksen ja siten myös kustannusten vähentyminen vaatii kuitenkin lisäksi moottorin säätöjä sekä uudelleen luokitusta. **Polaariolosuhteet aiheuttavat niin suurta vaihtelua aluksen nopeuteen sekä moottorikuormaan, että on vaikea arvioida matkanopeuden ja säätöjen todellista vaikutusta mustahiilipäästöjen määrään.**

### 6.3.2 Laivojen vaihtoehtoiset polttoaineet

Uusista vaihtoehtoisista polttoaineista on tullut tutkimuksen ja kokeilun kohde erityisesti kasvihuonekaasujen (GHG) ja rikinoksidien ( $SO_x$ ) aiheuttaman ilmastomuutoksen takia. Joitakin tutkittuja polttoaineita ovat mm. nesteytetty maakaasu (LNG), nesteytetty kiviöljykaasu (LPG), metanoli ja etanoli, dimetyylieetteri (DME) synteettiset polttoaineet (Fischer-Tropsch), biodiesel, biokaasu, sähkö akun varaukseen, ns. "cold ironing"<sup>8</sup>, vety ja ydinpolttoaine. Vaihtoehtoisille polttoaineille tulisi selvittää fysikaaliset ja kemialliset olosuhteet, tuotanto, saatavuus ja hinta, soveltuvuus laivakäyttöön, turvallisuusasiat ja päästö- ja ympäristöasiat. Sen sijaan uusiutuvien energialähteiden kuten tuuli- ja aurinkoenergian ei uskota olevan suurille kaupalaivoille järkevä investointi [DNV GL 2014]

#### Raskaan polttoöljyn vaihto laivapolttoöljyyn (HFO → MDO)

Laivaliikenteen päästöjen torjumiseksi on polttoaineen valinnalla suuri vaikutus ilmanpäästöjen määrään, laatuun ja terveysvaikutuksiin. Raskas polttoöljy (high fuel oil, HFO) sisältää

<sup>7</sup> sähköisesti kontrolloitu matala nopeuksien laivan moottori

<sup>8</sup> "cold ironing" tarkoittaa tapaa, jossa satamassa laivan moottorit sammutetaan ja tarvittava virta otetaan verkkovirrasta

pitkäketjuisia hiilivetyjä (HC), erityisesti alkaaneita, sykloalkaaneita ja aromaattisia yhdisteitä, ja lisäksi vanadiumia ja tuhkaa. Polttoaine sisältää myös hiileen sitoutuneita epäpuhtauksia, kuten suuria määriä rikkiä (S) sekä typpeä (N). Polttomootorissa nestemäisen polttoaine ensin höyrystyy ja sitten reagoi hapen kanssa eli palaa korkeassa lämpötilassa. Palamisreaktio tuottaa energiaa, vettä (H<sub>2</sub>O) ja hiilidioksidia (CO<sub>2</sub>). Moottorin olosuhteita tarkasti säätämällä on mahdollista välttää epätäydellisessä palamisessa muodostuvia sivutuotteita, kuten häkää (CO) ja palamattomia hiilivetyjä (HC). Polttoaineessa olevat typpi ja rikki reagoivat korkeassa lämpötilassa muodostaen typen oksideja (NO<sub>x</sub>) ja rikkioksideja (SO<sub>x</sub>). Palamisen yhteydessä muodostuu myös partikkeleita (PM) tai tuhkaa. [Lack & Corbett 2012, CIMAC 2013]

Laivapolttoöljyssä (MDO) rikin määrää on vähennetty jalostamalla HFO:ta katalyyttisesti. Esimerkiksi Neste Oil on tuonut markkinoille joulukuussa 2014 matalarikkisen (0.1 %) poltto- nesteen laivaliikenteeseen, joka soveltuu tiukentuneille SECA-alueille. Kuvassa 6.10. esitetty, miten Neste Oil valmistaa tislattua vähärikkistä laivapolttoöljyä (MDO/DMB<sup>9</sup>) raskaasta polttoöljystä (MDO) jakeluun. [Neste 2014]



Kuva 6.10. Raskaan polttoöljyn (HFO) käsittely laivapolttoöljyksi (MDO-DMB) [Neste 2014]

***Kirjallisuudessa on ristiriitaista tietoa siitä, vähentääkö korkearikkisen polttoaineen vaihto vähärikkisempään polttoaineeseen mustahiilen määrää vai ei. Syynä on rikkipitoisen polttoaineen vanadium, joka toimii katalyyttinä mustahiilen vähentäjänä.***

### **Nesteytetty maakaasu (LNG)**

Nesteytetyn maakaasua (LNG) polttoaineena käyttäviä laivoista hyvä esimerkiksi on Viking Linen Grace. LNG sisältää metaania, mutta myös etaania ja vähäisiä määriä korkeampia hiilivetyjä. LNG säilytetään hyvin kylmässä (-192 °C). LNG käytön on havaittu vähentävän 60 % typenoksidin (NO<sub>x</sub>), 90–100 % rikkioksidin (SO<sub>x</sub>) ja 72 % partikkelipäästöistä (PM) verrattuna dieseliin [CNSS 2015]. Myös ”teknologinen lämmityspotentiaali” (technology warming potential, TWP) on jossain olosuhteissa ja aikajänteellä LNG:llä dieselpolttoainetta alempi [Thomson et al. 2015]. Siksi LNG:n käyttö voisi olla vastaus tiukentuviin SECA- ja NECA-vaatimuksiin.

***Euroopan unioni (EU) harkitsee LNG:n kuljetuksessa tukea, jolla parannetaan talouskasvua, vahvistetaan Euroopan teollisuuden kilpailukykyä ja vähennetään kasvihuonepäästöjen määrää kuljetuksessa.*** [EU Maritime 2015] Suomen meriliikennestrategiassa 2014-2022 yhtenä strategiäkärkenä on ”Vihreää kasvua vahvasta meriklusterista” jossa painotetaan erityisesti vaihtoehtoisia polttoaineita ja uusia laivakonsepteja. LNG:lle on oma toimintaohjelma (2013-2017). [Liikenne- ja viestintäministeriö 2014]

<sup>9</sup> DMB on raakaöljystä tehty meriöljy, joka on tiheyden perusteella jaettu ISO 8217 standardin mukaan kategoriaan B.

LNG-käyttöinen laiva tarvitsee noin kaksi kertaa isomman säilötilavuuden verrattuna diesel-käyttöiseen laivaan. Tämä rajoittaa LNG:n käyttöä vanhoissa laivoissa sekä nostaa uusien laivojen hintaa. Myös LNG:n saatavuus satamissa ja turvallisuusasiat tulee huomioida. LNG-polttoaineen suurin ongelma on palamattoman metaanin vuotaminen polton sekä laivan tankkaamisen yhteydessä. Metaani on kasviuonekaasu, joka aiheuttaa polaarialueilla suuria ongelmia [Brewer 2015]. Biopolttoainetta voidaan myös sekoittaa perinteiseen dieselpolttoöljyyn ja biokaasu voidaan käyttää korvaamaan LNG:tä. Haasteina biopolttoaineissa on niiden tuottaminen suurissa määrissä.

### **Biopolttoaine**

Biopolttoaineet voidaan jakaa kolmeen ryhmään riippuen niiden raaka-aineesta. Ensimmäisen sukupolven biopolttoaineet valmistettiin syötäväksi kelpaavista viljelykasveista, seuraavan sukupolven ei-syötävistä viljelykasveista ja ns. levävalmisteiset biopolttoaineet edustavat kolmatta sukupolvea. Biopolttoainetta kuvataan usein rasvahapon metyyliesterinä eli FAME-aineena (fatty acid methyl ester). Laivaliikenteessä on jo nyt käytössä polttoainetta, jossa on mukana biopolttoainetta. FAME-aineella on hyvät sytytys ja voiteluominaisuudet, mutta niiden varastoinnista, käsittelystä sekä meriympäristövaikutuksista on vielä vähän kokemuksia. FAME-aineen haittana on hapettuminen ja vesittyminen pitkään varastoituna. Vesittymisen seurauksena mikrobiologinen kasvusto mahdollistuu, jolloin FAME-aine voi likaannuttaa pintoja tai suodattimia. Alhaisessa lämpötilassa FAME-aineen virtausominaisuudet huonontuvat. [Vermaire 2012]

Ilmansuojelun kannalta biopolttoaineiden on havaittu vähentävän jopa 50–90% partikkeli-päästöjä, koska ne sisältävät vähemmän aromaattisia yhdisteitä ja koska niiden setaaniluku ja sekä happipitoisuus ovat perinteistä dieselpolttoainetta korkeammat [Lack 2012]. Biopolttoaineiden etuna on hajoavuus luonnossa, jolloin niiden käytöstä on vähemmän haittaa meriympäristölle.

**Biopolttoainetta kuluu enemmän, koska se sisältää vähemmän energiaa kuin dieselpolttoaine. Lisäksi polttoaineen saatavuus on haaste suurille laivoille.**

Suomi on yhdessä Brasilian ja Italian kanssa tehnyt aloitteen IMO:n pilaantumisen ehkäisyä ja torjuntaa käsittelevän alakomitean ohjelmaan, jotta biopolttoaineiden kuljettaminen öljytankkereissa > 25 % seoksina voitaisiin aloittaa. Keskustelut biopolttoaineiden kuljetuskriteerien uudistamiseksi ovat siis lähteneet liikkeelle. [Trafi 2015]

### **Dual-fuel moottorit ja LNGPac™**

Wärtsilä Oy:llä on markkinoilla ns. dual-fuel 4-tahtimoottori, joissa pääsääntöisesti käytetään LNG:tä, mutta tarvittaessa myös dieseliä (HFO) tai bioöljyä tai -kaasua. Tämä lisää laivanomistajien mahdollisuuksia valita sopiva polttoaine hinnan, ympäristörajoitusten (esimerkiksi SECA tai NECA) ja tankkausmahdollisuuksien perusteella. Polttoaineen vaihto ei muuta laivan tehoja tai vauhtia. LNG:n käyttö aluksen polttoaineena vähentää 20% CO<sub>2</sub>, 80% NO<sub>x</sub>, 99% SO<sub>x</sub> sekä 95% PM-päästöjä. LNGPac™ on polttoaineen käsittelyjärjestelmä, joka mm. maksimoi LNG varastointilavuutta ja lisää käytön luotettavuutta. [Wärtsilä 2012 ja 2014]



## 6.4 Tekniset menetelmät: pesurit (SO<sub>x</sub>), suodattimet (PM) ja NO<sub>x</sub>-poisto

### 6.4.1 Pakokaasupesurit (SO<sub>x</sub>)

Tavallisesti laivoissa käytetään polttoaineena raskasta polttoöljyä, joka sisältää vaihtelevia määriä rikkiä. Laivojen moottoreissa tapahtuvassa palamisreaktiossa rikki hapettuu rikkidioksidiksi (SO<sub>2</sub>), joka aiheuttaa happamoitumista, ilmastonmuutosta ja on osallisena partikkeleiden muodostumiseen. Pakokaasupesurissa moottorista tuleva SO<sub>2</sub> -pitoinen pakokaasu käsitellään joko kuivana tai märkänä. Kummassakin menetelmässä talteen otettu rikki säilötään ja jatkokäsitellään. Rikkipesureita valmistavat mm. Alfa Laval Aalborg, Belco Dupont, Clean Marine, Couple, MAN, Mes sekä Suomessa Wärtsilä ja Deltalagh Oy [Kalli 2012]. Rikkipesuria valittaessa on huomioitava aluksen tyyppi, meren suolaisuus, merialue (ECA-alue), käyttöaika merellä ja satamassa, pesurin koko ja tilavuus laivassa olemassa olevaan tilaan nähden, pesurin paino, rakenteelliset näkökohdat, pesurin vaatima energiatarve, mahdolliset hoitokulut, nopea asentamisen vaatima aika, huolto ja miehistön koulutus sekä kokonaiskustannukset suhteessa aluksen käyttöikään. [Albrecht 2012]

Pakokaasupesurit ovat hyvin tehokkaita eri massaläpimittaisten (mass diameter) partikkelipäästöjen PM<sub>1</sub>, PM<sub>2,5</sub> tai PM<sub>10</sub> (tarkoittaa: <1, 2,5 tai 10µm) puhdistajina, jopa 98 %:sti. Pakokaasupesurin kyvyssä puhdistaa mustahiiltä on vielä epävarmuutta, koska [Lack & Corbett 2012] mukaan:

- 1) mustahiilen paino-osuus partikkelista on enintään 4 %,
- 2) laivan mustahiilipäästö on yhdistetty partikkeleihin, joiden massa läpimitta on keskimäärin ≤ 0,2 µm, ja
- 3) mustahiili voi olla pakokaasussa joko hydrofobinen tai hydrofiilinen, riippuen sekoittumistilasta ja kuinka nopeasti mustahiiliydin on kerännyt ympärilleen muita aineita. Tämä aiheuttaa märkäpesurin teholle epävarmuutta.

**Pakokaasupesurin tehosta vähentää mustahiilen määrää pakokaasusta on todella vähän tietoa olemassa. Tekniikan soveltuvuus erityisesti polaariolosuhteisiin vaatii lisätutkimuksia.**

### 6.4.2 Hiukkassuodattimet (PM)

Teollisuuden ja autojen savu- ja pakokaasussa olevat hiukkaset voidaan poistaa käyttämällä hiukkassuodattimia. Puhdistuksessa pakokaasu pakotetaan hyvin ohuisiin umpinaiisiin kanaviin, joihin partikkelit alkavat kerääntyä. Hiukkassuodattimen puhdistusteho voi olla jopa 55–95 % hiukkaspäästöistä ja mustahiilen osalta jopa 95–99 %.

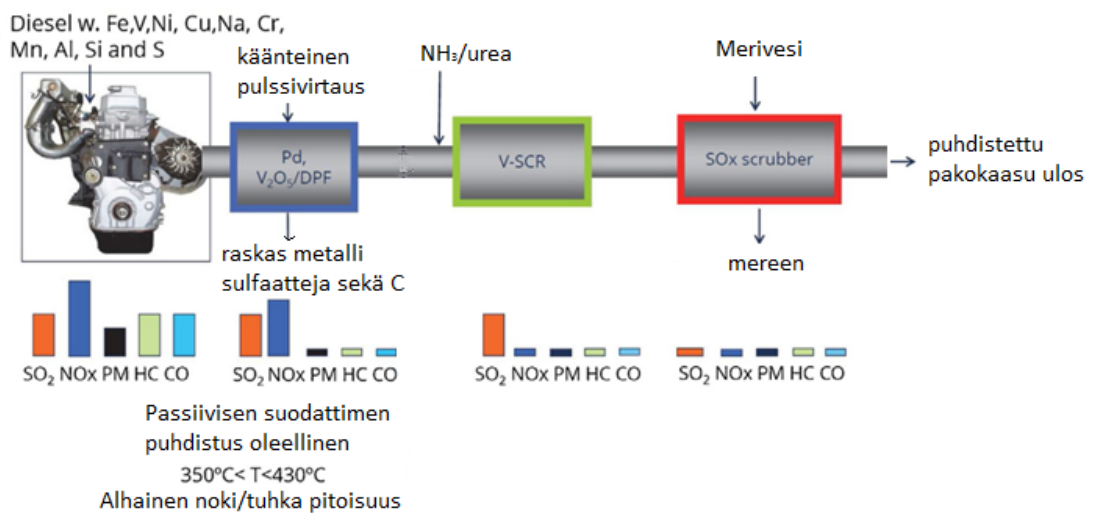
Partikkelisuodattimille on kuitenkin vielä paljon haasteita meriliikennettä ajatellen. Tarvitaan vastapainetta, jotta pakokaasu saadaan suodattimen kanaviin. Tällöin aiheutuu moottorille lämpökuorma. Lämmön nousu ei ole hyväksi laivan moottorille, koska silloin voi tulla yllättäviä vahinkoja pakoventtiilille ja turboahdetulle turbiinille likaantumista tuhkan vuoksi [CIMAC 2012]

Koska hiukkassuodatin menee tukkoon siihen kerääntyneistä hiukkasista, on se puhdistettava aika-ajoin aktiivisesti (poltin tai sähköä), tai passiivisesti (katalyyttinen puhdistus). Meriliikenteen rikkipitoisen HFO-polttoaineen takia hiukkaspäästöjen puhdistamisessa aktiivinen menetelmä soveltuu paremmin hiukkaspäästöjen käsittelyyn kuin passiivinen. Menetelmässä

voi käyttää esim. poltinta, joka polttaa noen hapen avulla 600 °C, kun moottori on sammutettu. Ongelmana on kuitenkin polton ajoitus epävakaisissa olosuhteissa. [Amberla 2015]. Menetelmän heikkoutena on myös polttoaineen kulutuksen kasvu, jolloin myös CO<sub>2</sub> -päästöjen määrä nousee. [Rudzki & Carran 2014]

Aktiivisessa menetelmässä hiukkasten puhdistus tapahtuu polttamalla NO<sub>2</sub>-kaasulla n. 250 °C sekä vastapaineisella syötöllä. NO<sub>2</sub> tulee joko pakokaasusta suoraan, tai se tuotetaan jalometalleja sisältävän katalyytin avulla. Jalometallit ovat kalliita ja eivät siedä rikkiä.

Kokeiluja laivan PM-päästöjen vähentämiseksi on tehty käyttämällä passiivista noen poistoa 350 °C:ssa sekä katalyyttisuodatinta, joka polttaa nokea, häkää, hiilivetyjä ja myös polyaromaattisia yhdisteitä. DPF-laite voidaan laittaa ennen SO<sub>x</sub>- pesuria, kuten kuvassa 6.11 on esitetty. [Johansen 2015]



Kuva 6.11. Laivan moottorin ilmanpäästön poistoprosessi: dieselmoottori → suodatin (Pd,V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) → NH<sub>3</sub>/urea syöttö → SCR-katalyytti (V-SCR, NO<sub>x</sub>-poistoon) → rikkipesuri (SO<sub>x</sub> scrubber). [Johansen 2015]

Partikkelisuodatin vaatii paljon tilaa, noin kaksi tai kolme kertaa enemmän kuin moottori. Tämä on huomioitava aluksen käyttöä mietittäessä. **Polaarialueille ei ole annettu partikkelisuodattimien käytölle rajoituksia.**

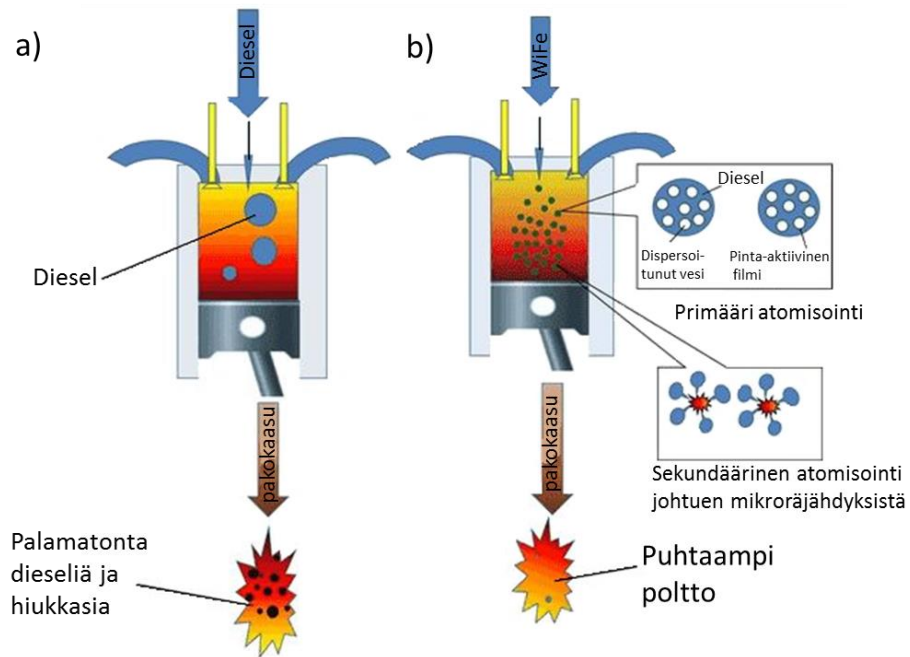
### 6.4.3 Typenoksidien (NO<sub>x</sub>) puhdistus

#### Vesi-polttoaine-emulsio (WiFE)

Moottorissa tapahtuvaa polttoaineen palamista voidaan parantaa vesi-polttoaine-emulsio avulla. Menetelmä soveltuu erityisesti typen oksidien puhdistamiseen pakokaasusta (Tier III vaatimustason täyttävä) puhdistaan noin 40–60 % pienhiukkasista. Mustahiilen poistokyky on noin 70–85% riippuen lähteestä. Menetelmässä 20–30 % vettä syötetään jatkuvasti polttoaineeseen, jolloin muodostuu tasainen emulsioseos. Matalarikkisimmillä polttoaineilla tarvitaan lisäaineita stabiloimaan emulsio. Moottorissa palamisen yhteydessä suurin osa polttoaineesta olevista yhdisteistä hajoaa riittävän korkeissa lämpötiloissa pieniksi atomeiksi. Veden lisäyksen on havaittu parantavan hiilen atomisoinnin määrää. Heikkoutena on polttoaineen kulutuksen nousu, koska energiaa tarvitaan mm. lämmittämään vesi riittävän korkeaan lämpötilaan. Lisäksi tarvitaan paljon uusia kalliita teknisiä osia, kuten homogenointiyksikkö. [Lack 2012, IMO 2015] Kuvassa 6-12 on esitetty, miten dieselpolttoaine ja vesi-diesel-emulsio



palaminen eroavat toisistaan moottorissa. Palamisprosessin puhtaudella on suora vaikutus pakokaasun puhtauteen [Khan 2014].



Kuva 6.12 Moottorissa tapahtuva palaminen a) diesel-polttoaineella ja b) vesi-diesel (WiFE) -polttoaine-emulsiolla. [Khan 2014]

Koska tekniikka on vielä uusi, ei tiedetä onko vedellä syövyttävä vaikutusta. Vesisäiliön koko voi olla puolet isompi kuin polttoainesäiliön, eli se vie paljon tilaa. Mikäli aluksessa ei ole tilaa, voidaan käyttää puhdasvesigeneraattoreita.

**Alhaisista lämpötiloista johtuen polaarialueilla vesisäiliön ja –putkistojen lämmitys on suositeltavaa.**

### Selektiivinen katalyyttinen puhdistus (SCR)

Pakokaasussa olevat typen oksidit ( $\text{NO}_x$ ) muodostuvat, kun typpeä sisältävä polttoaine palaa riittävän korkeassa lämpötilassa.  $\text{NO}_x$  -päästöt voidaan puhdistaa pakokaasusta käyttämällä katalyyttiä sekä ureaa ( $\text{NH}_2)_2\text{CO}$ ), joka nopeasti korkeassa lämpötilassa hajoaa ammoniakiksi ( $\text{NH}_3$ ). Katalyytissä tapahtuu selektiivisesti  $\text{NH}_3$ :n ja  $\text{NO}_x$  välillä reaktio typeksi ja vedeksi, jonka takia menetelmää kutsutaan selektiiviseksi katalyyttiseksi puhdistukseksi (SCR). Polttoaineen rikkipitoisuus määrää SCR:llä vaadittavan lämpötilan. Liian korkeassa lämpötilassa muodostuu  $\text{SO}_x$  -päästöjä. Liian alhaisessa lämpötilassa hiilivety (HC) sekä ammoniakkisulfaatit ( $\text{NH}_3\text{SO}_4$ ) jäävät katalyytin pinnalle. Tyypillinen SCR:n käyttölämpötila onkin 290–350 °C, mikä vaatii esilämmityksen.

Mustahiilen poiston kannalta on vielä tutkittavana, voiko katalyyttinä käytettävä vanadium-pentoksidi ( $\text{V}_2\text{O}_5$ ) hapettaa hiiltä, jolloin ei muodostuisi hiiliytimiä [Ristimäki 2010, Amberla 2015]. Katalyytin käyttöikä on n. 4-6 vuotta, vaikka sitä puhdistettaisiinkin aika ajoin kertyneestä noesta puhaltamalla (soot blowing system). Myös epätäydellisen pelkistykseen seurauksena voi jäädä vielä  $\text{NH}_3$ :a, joka syövyttää katalyyttiä. Wärtsilä Oy:llä on ns. high ja low pressure (ennen ja jälkeen turbiinin) SCR kaupallisesti markkinoilla. [Wärtsilä 2015] Suomessa SCR katalyyttejä valmistaa mm. Dinex Ecocat Oy, ja tutkimusyhteistyötä on mm. Oulun yliopiston kanssa.

## 7. JOHTOPÄÄTELMÄT JA SUOSITUKSET

### Polaarikoodin merkitys Suomelle

Merenkulku ja ihmistoiminta arktisilla ja antarktisilla alueilla ovat lisääntyneet. Merenkulun ennakoidaan edelleen kasvavan polaarialueilla tulevaisuudessa. Polaarikoodin toimeenpanolla pyritään parantamaan meriturvallisuutta ja meriympäristön suojelua arktisilla ja antarktisilla vesillä vähentämällä näillä alueilla operoivien alusten riskejä. Riskien syyt ovat moninaiset, sillä äärimmäisten ja nopeasti vaihtelevien olosuhteiden lisäksi etäisyydet ovat pitkiä, laivaväylät vaikeakulkuisia ja merikartoitus- ja jäätiedot sekä pelastusinfrastruktuuri ovat alueilla puutteellisia. Lisäksi arktisten ja antarktisten alueiden ympäristö on erityisen herkkä saastumiselle. Siksi laivojen aiheuttamien päästöjen ja merionnettomuuksien ehkäisy on erityisen tärkeää. Ihmisten ja ympäristön turvallisuuden vuoksi polaarialueilla liikkuvien alusten tiukemmat turvallisuus- ja ympäristömääräykset sekä miehistön koulutusta ja pätevyksiä koskevat säännökset ovat perusteltuja.

Kansainvälinen merenkulkujärjestö IMO (International Maritime Organization) on toukokuussa 2015 hyväksynyt Polaarikoodin. Koodi tulee voimaan 1.1.2017. Polaarikoodiin liittyvät miehistön pätevyysvaatimukset tulevat todennäköisesti voimaan 1.7.2018. Lisäksi koodissa määriteltyihin polaarivesialueisiin rajoittuvat rantavaltiot voivat UNCLOS:in (Yhdistyneitten kansakuntien yleissopimus koskien merioikeutta ts. merien perustuslaki) nojalla säännellä meriliikennettä omilla aluevesillään ja antaa aluksille kansainvälisiä sopimuksia tiukempia turvallisuus- ja ympäristövaatimuksia kansallisten säädöstensä kautta.

Polaarikoodi koostuu kahdesta osasta: osa I koskee turvallisuusasioita ja osa II ympäristöasioita. Polaarikoodin turvallisuusmääräykset sisältävät mm. polaarialueilla purjehtivien alusten rakenteita, vakavuutta, vuotovakavuutta, koneistoja, paloturvallisuutta, pelastuslaitteita, navigointilaitteita, radiolaitteita, turvallista operointia sekä miehistön koulutus- ja pätevyysvaatimuksia koskevia säännöksiä. Polaarikoodin ympäristömääräykset koostuvat pakollisesta ja vapaaehtoisesta osasta. Koodin pakollisessa osassa kielletään öljyn ja öljyisten vesien ja kemikaalien tai niiden seosten päästämistä mereen arktisilla ja antarktisilla vesillä. Myös käymäläjätevesien ja kiinteiden jätteiden päästöjä laivoista mereen rajoitetaan mannerjään ja jäänreunan läheisyydessä. Vapaaehtoinen osa suosittaa mm. myrkyttömien biohajoavien tai vesipohjaisten voiteluaineiden käyttöä aluksen vedenalaisissa rakenteissa, painolastivesiyleissopimuksen toimeenpanoa ennen sen voimaantuloa ja aluksen rakenteisiin kiinnittyvien kasvustojen (biofouling) minimoimista jääolosuhteissa.

Polaarikoodilla on Suomen kannalta merkittäviä vaikutuksia. Polaarikoodin voimaantulo lisää talvimerenkulun ja polaarioloihin liittyvän teknologian kysyntää ja asettaa viranomaisille lisävelvoitteita. Polaarikoodin astuttua voimaan Trafi myöntää suomalaisille aluksille polaarilaivatodistuskirjoja sekä merenkulkijoille polaarikoodiin liittyviä lisäpätevyystodistuksia. Talvimerenkulkuun liittyvä osaaminen ja polaariolosuhteiden aito ymmärrys korostuu laivoja ja miehistöä koskevien riskien arvioinnissa. Suomalaisilla viranomaisilla, varustamoilla, meriteollisuusyrityksillä ja merenkulkijoilla on vankka talvimerenkulkua koskeva osaaminen. Suomalaisaluksia ja suomalaisia merenkulkijoita on jo usean vuosikymmenen ajan liikkunut polaarialueiden vesillä. Usealla suomalaisvarustamolla on halu ja valmius toimia polaarialueilla myös tulevaisuudessa. Lisäksi Suomi on panostanut polaarialueita koskevaan tutkimukseen ja teknologiaan. Suomessa on kansainvälisesti katsottuna vahvaa erityisosaamista mm. jäävahvistettujen alusten ja jäänmurtajien suunnittelusta ja rakentamisesta, ympäristömittaus-

tekniikasta sekä öljyntorjunnasta jääoloissa. Suomen vahva teknologiaosaaminen mm. clean techissa sekä bio- ja terveysteknologioissa tukee yhdessä olosuhteosaamisen kanssa arktisen osaamisen tuotteistamista ja vientiä. Polaarikoodin voimaantulo tukee siten Suomen arktisen strategian tavoitteita olla jatkossa arktisen meriteollisuuden ja varustamatoiminnan johtava asiantuntija sekä pitää suomalaisyritykset jatkossakin vahvasti mukana arktisten alueiden kehittämisessä ympäristöllisesti kestäväällä tavalla.

Talvimerenkulkuun, kylmissä oloissa toimimiseen ja niihin liittyvien riskien hallintaan liittyvälle osaamiselle on kysyntää tulevaisuudessa meriliikenteen ja muun ihmistoiminnan lisääntyessä arktisilla ja antarktilla alueilla. Polaarikoodiin liittyvät miehistön pätevyysvaatimukset antavat mahdollisuuksia koulutusorganisaatioille tarjota koulutusta myös ulkomaisille osallistujille. Etenkin viranomaisille tarjottavalla koulutuksella on todennäköisesti kysyntää, vaikka kaupallinen toiminta polaarialueilla mm. markkinasuhteista johtuen olisi vähäisempää. Suomeen suunnitteilla olevalla arktisella osaamiskeskuksella on siksi paljon mahdollisuuksia ja tehtävää suomalaisen kylmän ilmanalan osaamisen kaupallistamisessa ja tuotteistamisessa sekä sen viennin ja näkyvyyden edistämässä.

Polaarikoodin toimeenpanon jälkeiset käytännön kokemukset tulevat osoittamaan miten toimiva koodi on ja mitä muutostarpeita tulee esille. Merenkulun sääntely ja ympäristön tilaan vaikuttavien merenkulun päästörajojen asettaminen tapahtuu YK:n alaisessa kansainvälisessä merenkulkujärjestössä (IMO) ja sen hallinnoimien kansainvälisten sopimusten kautta. Polaarialueiden ympäristön tilan kannalta erityisesti laivojen painolastivesiä ja ilmastonmuutosta voimistavia kasvihuonekaasupäästöjä koskevat rajoitukset olisivat merkittäviä. Polaarikoodiin ei kuitenkaan vielä sisälly näitä päästöjä koskevia rajoituksia. Koko maailmassa yhtenäisesti voimassa olevalla sääntelyllä voidaan estää laivojen tuottamien päästöjen kaukokulkeutumista ilmakehässä, torjua ilmastonmuutosta sekä haitallisten vieraslajien leviämistä. Yhtenäinen sääntely helpottaa maailmanlaajuisesti toimivien yritysten toimintaa. Ennakoitava sääntely etenkin suomalaisen talvimerenkulku-, meripelastus-, clean tech- ja kylmän ilmanalan osaamisen viennin kannalta ensiarvoisen tärkeää. Merenkulun päästörajojen asettamista ohjaa merenkulun maailmanlaajuinen tilanne. Merenkulun kansainvälisiä normeja asetettaessa ei aina riittävästi huomioida kylmien alueiden tai esimerkiksi Itämeren ympäristöllisiä erityisolosuhteita. Siksi Suomen on tärkeää aktiivisesti osallistua Polaarikoodin ja merenkulkua säätelevien kansainvälisten sopimuksien jatkokehittämiseen. Tämä tavoite on mainittu myös Suomen arktisessa strategiassa.

Painolastivesiyleissopimukseen sisältyy kielto käsittelemättömien painolastivesien mereen päästämisestä. Painolastivesilaitteistojen toimivuuteen polaarialueiden kylmissä oloissa liittyy kuitenkin epävarmuuksia, koska laitteistot on ensisijaisesti kehitetty toimimaan lämpimämissä valtameriolosuhteissa, eikä niiden toimivuutta ole erikseen testattu polaarialueiden oloissa. Päästöjen vähentämiseen tähtäävien teknisten ratkaisujen toimivuus polaarilolosuhteissa tulisi siksi varmistaa, tai vaihtoehtoisesti Polaarialueilla ja Itämerellä purjehtiville aluksille tulisi voida myöntää määräyksiä koskevia helpotuksia. Muutoin uhkana on, että päästörajoitukset joko estävät merenkulun polaarialueilla kokonaan, tai hyväksytyt päästörajoitukset lisäävät aluksien energiankulutusta ja tuottavat siten lisää päästöjä ilmaan. Lisäselvitystä vaativia kysymyksiä ja onnistuessaan myös mahdollisuuksia Suomelle voisi olla esimerkiksi painolastivesien hallintajärjestelmien "lastentautien" selvittämisessä sekä arktisten olosuhteiden testausolosuhteiden järjestämisessä. Painolastivesiyleissopimuksen voimaantulolla voi olla myös myönteisiä vaikutuksia suomalaiselle meriteknologiateollisuudelle (clean tech), kun markkinat uusille painolastiveden käsittelyjärjestelmille laajenevat.

Laivojen lyhytikäisten mustahiilipäästöjen torjunta tuo merkittäviä ilmasto- ja terveysvaikutuksia. Ilmaston lämpenemisen ennakoitaan olevan erityisen nopeaa maapallon polaarialueilla. Suomi on arktisessa strategiassa sitoutunut tukemaan lyhytikäisten ilmastomuutosta nopeuttavien ilmansaasteiden, erityisesti mustahiilen, vähentämiseen tähtääviä kansainvälisiä yhteistyöhankkeita, mustahiilipäästöjen vähentämiseen liittyvän toimintaohjelman laatimista sekä vähentämään maassamme syntyviä mustahiilipäästöjä. Mustahiilipäästöjen torjunta edellyttää standardoidun mustahiilen mittausten kehittämistä, jotta mahdollinen päästövähennystarve voidaan määrittää. IMO:n listaamien mustahiilen teknisten ja operatiivisten torjuntamenetelmien toimivuus sekä yleisesti että erityisesti polaarialueiden olosuhteissa tarvitsee vielä paljon lisätutkimusta. Mustahiilestä ja mustahiilipäästöjen torjumisen eduista tulisi kertoa lisää Suomen meriteollisuudelle. NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> ja CO<sub>2</sub>-päästötöknologioiden kehittäminen, parantaminen tai näiden teknologioiden yhdistäminen myös mustahiilipäästöille soveltuvaksi toisi markkinaetua. Mustahiilipäästön standardointi Polaarikoodiin vaatii siis vielä paljon lisäselvitystä. Suomen rooli on tukea IMO:a tässä työssä.

Suomen arktisen osaamisen tunnetuksi tekeminen on yksi Suomen arktisen politiikan tavoitteita kansainvälisessä yhteistyössä. Suomi on Arktisen neuvoston puheenjohtajamaa 2017-2019, jolloin edellä lueteltuja polaarialueiden kestävään käyttöön, merenkulun päästöjen vähentämiseen, kansainväliseen yhteistyöhön ja suomalaisen osaamisen vientiin liittyviä tavoitteita on mahdollisuus edistää.

### **Koulutusta koskevat suositukset:**

Suomalaisilla merenkulkuoppilaitoksilla on hyvät valmiudet antaa ja toteuttaa Polaarikoodiin liittyvää miehistön pätevyitymiskoulutusta. Muutama oppilaitos Suomessa on lisäksi jo toteuttanut ulkomaisille kohderyhmille annettavia koulutuksia. Jotta koulutusyhteistyötä ja suomalaisen osaamisen vientiä voitaisiin nykyisestä tehostaa, jatkossa tulisi selvittää mahdollisuudet lisätä yhteistyötä merenkulun alalla ja luoda yhtenäinen Suomen talvimerenkulun konsortio toimija. Suomessa järjestettävät polaarikoulutukset ja laajemmin talvimerenkulun osaamisen kehittäminen tulisi organisoida selkeämmin keskitetyksi ja johdetuksi toiminnaksi ensisijaisesti yhden konsortion alle, jossa eri toimijoilla on toisiaan täydentävät roolit. Koulutus- ja muiden palvelujen ja tuotteiden kehittäminen, markkinointi yms. tehtäisiin tämän konsortion kautta. Vaihtoehtoisesti tulisi edistää nykyistä tiiviimmän yhteistyön syntymistä olemassa olevien koulutusorganisaatioiden välillä.

Jäänmurtaja-alusten sekä HarjoitteluMylly-konseptin hyödyntämistä merenkulkualan jäänavigointikoulutuksessa sekä polaarikoulutusten järjestämisessä tulisi tukea. Harjoittelumahdollisuuksia jäissä operointiin on esim. Perämerellä. Lisäksi Suomen vahvuuksia koulutusten rakentamisessa ja markkinoinnissa ulkomaisilla kohderyhmille tulisi hyödyntää.

Viranomaiset kokivat Polaarikoodiin liittyvän miehistön aluspalvelukokemuksen luotettavan arvioinnin vaikeaksi. Erityisesti advanced-tason pätevyyksien hyväksymistä ja kriteereitä tulisi sen vuoksi tarkastella erikseen. Polaarikoodiin liittyvän STCW-yleissopimuksen lisäpätevyystodistuksen myöntämisen perusteena olevan riittävän meripalvelukokemuksen arviointia ja validointia varten tulisi luoda digitaalinen hakujärjestelmä. Hakujärjestelmä hyödyntäisi ja yhdistäisi erilaisia olemassa olevia rekisteritietoja alusten sijainnista, jääolosuhteista henkilön antamiin meripalvelutietoihin. Järjestelmän kehittäminen tulisi koordinoita Trafissa 1.1.2017 valmistuvan pätevyyskirjojen sähköisen varmentamisjärjestelmän (STCW-yleissopimusvaatimus) kanssa. Trafilla on myös menossa kehitystyö sähköisen pätevyyskirjojen ja lisäpätevyystodistusten hakemisen osalta.

Viranomaiset voivat omalta osaltaan tukea suomalaisen osaamisen ja siihen liittyvän koulutuksen viennin. Siksi tulisi selvittää viranomaisten mahdollisuudet ja rooli Suomen arktisen merenkulun osaamisen ja sen osana järjestettävien polaarikoodikoulutusten viennin kehittämissä ja muun yhteistyön mahdollistajana ja tukijana. Lisäksi tulisi selvittää yhteistyömahdollisuudet suomalaisten talvimerenkulun koulutuksenjärjestäjien ja muiden valtioiden merihallintojen välillä esimerkiksi koulutusten auditointien ja muun toiminnan osalta.

Suomen talvimerenkulun osaamisen viennin edistämiseksi mahdollisuuksista tulisi tiedottaa aktiivisesti koulutuksen järjestäjille, merenkulkualan yrityksille ja muille toimijoille. Koulutusten keskeisten kohderyhmien koulutusta koskevat tarpeet tulisi selvittää, jotta voidaan varmistaa suomalaisen polaar- ja talvimerenkulun koulutusten korkean taso ja tuotteistaa osaaminen koulutuspaketeiksi.

Suomessa on erityisosaamista etenkin jääsimulaattoritekniologioiden alalla. Tämän osaamisen säilymisen varmistamiseksi ja sen ympärille rakennettujen, tuotteistettujen tuotteiden ja palvelut viennin edistämiseksi suomalaisen talvimerenkulun osaamista tulisi esitellä valtiovierailujen, yritysdelegaatioiden käyntien ja muiden aiheeseen sopivien tapahtumien yhteydessä. Lisäksi tulisi järjestää yrityksille verkostoitumistilaisuuksia. Suomalaisen talvimerenkulun kehittymismahdollisuuksia tulisi aktiivisesti tukea kansainvälisellä tasolla IMO:ssa ja EU:ssa tapahtuvan päätöksenteossa ennakkoinnin, edunvalvonnan ja vaikuttamisen keinoin. Vienninedistämisen ja edunvalvonnan osalta tulisi hyödyntää TEM:n ja muiden soveltuvien hallinnonalojen, ohjelmien ja rahoittajatahojen resursseja ja valmiuksia.

Yrityksiä ja koulutusta antavia organisaatioita tulisi tukea kansainvälisiin arktisen merenkulun koulutusmarkkinoihin liittyvien markkinaselvitysten ja asiakaskartoitusten tekemisessä. Selvityksissä tulisi ottaa huomioon mm. toimijat, tarpeet, kilpailijat, markkinoiden arvo, ajurit ja verkostot. Valtiovallan tulisi tukea koulutusorganisaatioiden omaehtoista ja aktiivista toimintaa koulutusmarkkinoilla. Myös säännöllisen arktisen merenkulun koulutusmarkkinabarometrin julkaisukäytäntö voisi palvella yritysten, viranomaisten ja koulutusta antavien organisaatioiden tarpeita. ArcMaTen tai vastaavan osaamiskeskuksen tulisi luoda Finnish Arctic Maritime Expertise -brändin rakentaminen ArcMaten yhteyteen tai itsenäisenä.

ArcMaTe voisi toimia välineenä talvimerenkulun koulutusten markkinoinnin ja koulutusviennin edistäjänä, riippuen siitä millaiseksi toiminnan muodoksi ArcMate kehittyi. Olisi määriteltävänä alueet kaikkien arktisten meriasioiden osalta mitä Suomi voisi viedä eteenpäin ja missä se voisi tarjota omaa osaamistaan. Suomen vahvuuksia olisivat fasilitetit kuten jääolosuhteet, turvallisuuskoulutusasiat ja tietyn tyyppinen tutkimus ja jäissä ajamisen opettelu.

## **Alusten jäissäkulkua koskevat johtopäätökset ja suositukset**

Polaarikoodin tavoitteena on ennen kaikkea ihmisten turvallisuuden takaaminen ja meriliikenteen ympäristöhaittojen vähentäminen arktisilla alueilla. Turvallisuuden kannalta aluksen jäänkestävyys ja jäissäkulkukyky tulee olla olosuhteisiin sopiva koskien jääolosuhteita ja lämpötilaa. Sääolojen vaihtelevuus ja nopeat muutokset tuovat omat haasteensa, joten alusten jääluokat eivät kuitenkaan aina vastaa alueella vallitsevan jääolon edellyttämiä vaatimuksia.

Oleellista onkin huomioida, että aluksen ominaisuudet ovat vain yksi vaikkakin tärkeä osa turvallisuutta. Polaarikoodi edellyttää, että aluksen omistajavarustamo sekä aluksen päällikkö ja miehistö osaavat toimia polaarioloissa, valitsevat suunnitellulle reitille sopivan aluksen ja

ymmärtävät polaariloissa purjehtimiseen liittyvät riskit. Aluksen jääluokka on minimirakennetaatimus, eikä se ota kantaa jäissä kulkukykyyn, vaan sen jää varustamon harkintaan. Miehityksen kokemus ja ymmärrys jääolosuhteista ovat välttämättömiä. Aluksen päällikön kokemus ja kyky arvioida tilannetta sopeuttaen esimerkiksi nopeutta on ratkaiseva asia onnettomuuksien ehkäisyn kannalta polaarioloissa.

Polaarialueilla liikkuvat alukset purjehtivat pääasiassa alueilla, jossa esiintyy yksivuotista jäätä. Olosuhteet tällaisilla alueilla vastaavat siten monessa suhteessa Itämeren talviolosuhteita. Suomalainen talvimerenkulkusaaminen on niihin oloihin erittäin sopivaa. Jääolosuhteet Itämeren alueella vaihtelevat hyvin paljon. Suomi on yksi harvoista maista, jossa kaikkiin satamiin johtavat väylät jäätyvät normaalitalvina. Jäänmurtajat avustavat kovina talvina noin 5000 alusta vuosittain maamme aluevesillä. Polaariluokitettuja aluksia on varsin vähän suhteessa suomalais-ruotsalaisten (FS) jääluokkasääntöjen mukaisesti rakennettuihin aluksiin. Edellä mainitut tekijät huomioiden Suomen kannalta olisi toivottavaa, että soveltuviin FS-luokkaisten laivojen operointi Polaarialueilla hyväksyttäisiin niissä jääoloissa mihin nämä laivat soveltuvat.

Polaarialueilla tapahtuvan ympärivuotisen liikenteen toteuttamisen kannalta suomalais-ruotsalaisten jääluokka-alusten ääriolusuhde selvittäminen on työn alla viranomaisten aloitteesta, jotta näiden alusten ääriolosuhteet voidaan ilmoittaa Polaarilaivatodistuskirjojen pohjaksi. Selvitys ääriolusuhde tehdään suomalaisten viranomaisten tarpeisiin. IMO ei velvoita lippuvaltioita tekemään selvitystä. Polaarikoodiin liittyvien säästöjen toimeenpanon valmistelu ja viranomaisten tehtävien määrittäminen ovat Suomessa edenneet meriturvallisuusviranomaisten kannalta hyvin ja ilman periaatteellisia ongelmia Polaarikoodin suhteen.

Polaarialueilla liikennöintiin liittyy kuitenkin varsin monenlaisia riskejä ja kysymyksiä. Nykyiset jääsääntöihin liittyvät järjestelmät ovat hyvin monimutkaisia ja niiden kehittämisen tulisi pitää erossa kaupallisten toimijoiden intresseistä. Arktisilla alueilla aluksille tapahtuneista vaurioista on hyvin vähän tietoa, jota voisi käyttää hyväksi riskienarvioinnissa. Myös eri lippu- ja rantavaltioiden käsitykset riskien arvioinnista vaihtelevat paljon. Haasteelliseksi koetaan myös laivaa rakentaessa operaattorin kanssa arvioidun aluksen käyttötarpeen ja sen mukaan suunnitellun laivan arviointi nyt toisin päin, eli missä jo olemassa olevalla laivalla voi operoida. POLARIS -järjestelmän tarkoitus on olla päätöksentekojärjestelmä käytettäväksi laivan komentosillalta niin reittisuunnittelun kuin hallinnon tarpeisiin. Sen suomalaiset implementoitiohjeet ovat valmisteilla helpottamaan osaltaan suomalaisalusten operointia alueella.

Polaarikoodin voimaantulo ei myöskään poista eri maiden välisiä erilaisia käytäntöjä. Rantavaltiot voivat yhä asettaa myös omia säännöksiä ja vaatimuksia siitä, minkälaisella aluksella heidän vesialueellaan saa operoida. Etenkin varustamot toivovat polaarijääluokkien selkeyttävän ja yksinkertaistavan nykyistä tilannetta, jossa pitkällä reitillä usean eri rantavaltion rajoitusmäärittelyn alueella operointi tarkoittaa jääluokkien määrittämistä erikseen joka maan viranomaisille heidän järjestelmänsä mukaisesti.

Suomelle arktinen osaaminen ja ymmärtäminen arktisten alueiden olosuhteista ovat vahvuus; riskit osataan analysoida. Tilanne on kuitenkin kansainvälisesti hyvin vaihteleva niin osaamisen kuin sääntöjen noudattamisen suhteen. Polaarikoodi ei mahdollista pääsyä toisten asiantuntijoiden arvioihin. Arktisilla vesillä laivat joutuvat liikkumaan paljon enemmän yksin ja aluksen päällikön vastuulle jää arvioida alukselle sopivat olosuhteet. Rahtaajat eivät välttämättä kansainvälisesti tiedosta asian vakavuutta ja operaattorin ottaman riskin suuruutta. Polaariohjekirja (PWOM) kertoo, missä laivalla voi turvallisesti operoida, edellyttäen että



aluksella on osaava miehistö. Tämä on Suomelle sekä viranomaistehtävä että kauppamerenkulkuamme koskeva mahdollisuus.

## **Alusten painolastivesijärjestelmien toimivuutta koskevat johtopäätökset ja suositukset**

Painolastivettä käytetään ilman lastia kulkevien alusten merikelpoisuuden säilyttämiseen. Painolastiveden määrät ovat huomattavia: maailmalla siirtyy vuosittain 3–4 miljardia tonnia painolastivettä satamasta toiseen. Kansainvälisen painolastivesiyleissopimuksen tavoitteena on pysäyttää painolastivesien mukana tapahtuva vieraiden eläin- ja kasvilajien kulkeutuminen uusiin elinympäristöihin, joissa ne aiheuttavat merkittäviä terveydellisiä ja taloudellisia haittoja samalla syrjäyttäen alkuperäisiä lajeja ja järkyttäen alueen ekologiaa. IMO:n arvion mukaan vuosittainen taloudellinen vaikutus on kymmeniä miljardeja euroja. Painolastiveden sisältämän eläin- ja kasviplanktonin leviämiskasvun riskiä Itämereen ja etenkin pohjoisille arktisille vesille pidetään entistä todennäköisempänä ilmaston lämpenemisen ja Venäjän öljyviennin kasvun myötä.

Yli kymmenen vuotta valmisteltu painolastivesiyleissopimus lähestyy vaiheittain toteutettavaa voimaantuloa, sillä sen hyväksymisen ehtona oleva maiden ratifiointitilanne on täyttynyt ja tonnistokriteeri on täyttymässä. Painolastivesiyleissopimuksen voimaantulon myötä Suomen ulkomaanliikenteessä kulkeviin laivoihin tulee asentaa painolastivesien käsittelylaitteistot. Satamavaltioiden tulee huolehtia myös siitä, että telakoitavien alusten painolastitankkeihin kertyneiden sedimenttien vastaanotto on järjestetty.

Laitteiston asennus on iso investointi ja sen valintaan vaikuttavat niin laivan ominaisuudet kuin olosuhteet ja maantieteellinen alue, missä sitä aiotaan käyttää. Laivan käyttöiän ollessa usein vähintään 20 vuotta ja laitteiston ollessa kallis asentaa ja huoltaa, laitteiston valinta vaikuttaa ratkaisevasti aluksen käyttökustannuksiin ja jälleenmyyntiarvoon. Koska painolastivesiyleissopimus ei vielä ole voimassa, käyttökokemuksia painolastivesilaitteistojen toimivuudesta on vähän. Lisäksi puhdistusteknologia kehittyy koko ajan. Viranomaisten kannalta puutteelliset näyteenottomahdollisuudet tuottavat hankaluuksia.

Laitteistot kuluttavat paljon energiaa ja vaativat jonkin verran tilaa, joten asennus olemassa oleviin aluksiin pienentää käytössä olevaa lastitilaa. Painolastivesien käsittelytekniikka on vielä suhteellisen uutta ja teknologiaa tarjoavat yritykset eivät ole välttämättä kovin pitkäikäisiä, koska kysyntä ei ole ollut kovin suurta ennen yleissopimuksen astumista voimaan. Vanhojen laitteistojen toimivuus, varaosien saanti ja käyttö- ja huoltokustannukset askarruttavat varustamoita.

Painolastivesilaitteistojen toimivuuteen ja soveltavuuteen polaarialueiden oloihin liittyy epävarmuuksia. Laitteistojen toimivuutta polaarioloissa ei ole erikseen testattu johtuen testauksen korkeista kustannuksista, mutta myös sopivien testausympäristöjen puutteesta. Veden lämpötilan ja suolapitoisuuden tiedetään vaikuttavan merkittävästi niin laitteistojen toimintaan kuin myös organismien kokoon, mikä puolestaan vaikuttaa käytettävän tekniikan toimivuuteen painolastivesien puhdistamisessa. Lisäksi aluksen painolastiveden käsittelyjärjestelmän mennessä rikki korjaajan ja varaosien saaminen voi polaarioloissa viedä paljon aikaa. Painolastivettä ei voi purkaa ennen kuin se on käsitelty. Poikkeustilanteiden, kuten laiterikkojen varalle tulisi olla selkeä toimintaohjeistus. Mahdollisten poikkeuksien ja erivapauskäytäntöjen

myöntämiseksi tarvitaan lisäohjeistusta sekä luotettavaa tietoa vieraslajien esiintymisestä eri satamissa.

Painolastivesien käsittelylaitteiden toimivuuteen polaarioloissa liittyy useita kysymyksiä, joiden ratkaisemiseen ei tässä vaiheessa ole riittävästi tietoa. Lisäselvitystä tarvitaan mm. painolastivesien hallintajärjestelmien toimivuudesta sekä testausolosuhteiden rajallisista mahdollisuuksista, mikä voisi olla Suomelle myös mahdollisuus profiloitua. Yleissopimus voi tuoda myös myönteisiä vaikutuksia suomalaiselle meriteknologiateollisuudelle (clean tech), markkinoiden laajetessa uusille, arktisille alueille soveltuville painolastiveden käsittelyjärjestelmille. Painolastittomat alukset ratkaisisivat monta ongelmaa, mutta näiden alusten teknisten ominaisuuksien (mm. jääluokat, vakaus) yhteensovittaminen on haastavaa.

### **Mustahiilipäästöjä koskevat johtopäätökset ja suositukset**

Mustahiilipäästöjä kulkeutuu polaarialueille lähinnä kaukokulkeutumana. Laivaliikenteen osuus kaikista maapallon mustahiilipäästöistä on n. 3 %. Mitä lähempänä polaarialueita laivaliikennettä on, sitä merkittävämpi laivojen päästöjen vaikutus on polaarialueiden ilmastoon. Ilmaston lämpenemisestä johtuen etenkin arktisen alueen merijääpeitteen ohentuminen ja vetäytyminen mahdollistaa uusien laivaliikennereittien käyttöönoton, jolloin laivapäästöjen suorat ilmastovaikutukset alueella suurentuvat. Kansainvälinen merenkulkujärjestö (IMO) on avainasemassa laivaliikenteen päästöjen hillitsemisessä, ja myös mustahiilipäästön rajoittaminen on ollut viime vuosina vahvasti esillä IMO:n työssä. Suomen arktisen strategian tavoitteena on tukea arktisten alueiden lyhytikäisten ilmastonmuutosta nopeuttavien ilmansaasteiden, erityisesti mustahiilen, vähentämiseen tähtääviä kansainvälisiä yhteistyöhankkeita, tukea toimintaohjelman laatimista mustahiilipäästöjen vähentämiseksi ja vähentää Suomen aiheuttamia päästöjä. Nopeita ympäristö- ja terveysvaikutuksia voitaisiin saada arktisilla alueille vähentämällä lähellä rannikkoa kulkevien pienten kalastusalusten ja turistiliikenteen aikaansaamia mustahiilipäästöjä sekä pienentämällä öljy- ja kaasusoihdutus päästöjä.

Mustahiilen määritelmä mahdollistaa standardisoitujen mittausmenetelmien kehittämisen. Mittaustekniikan kehittyminen mahdollistaa laivaliikenteen mustahiilipäästöjen määrän tarkan mittaamisen, minkä pohjalta voidaan määritellä päästövähennystavoitteet. Mustahiilipäästöille ei vielä ole olemassa omaa puhdistustekniikkaa. IMO:n mustahiilipuhdistustekniikan ns. pitkä ja lyhyt lista perustuvat tällä hetkellä lähinnä alustaviin kokeisiin sekä laskentoihin.

Jatkossa tarvitaan lisää yliopistojen sekä teollisuuden välistä yhteistutkimustyötä, jossa selvitetään teknisten sovellutusten, kuten SO<sub>x</sub> -pesurien, hiukkassuodattimien ja typenoksien puhdistusteknologioiden jne. soveltuvuus mustahiilipäästöjen vähentämisessä. Operatiivisena mustahiilipäästön torjuntamenetelminä suositellaan vaihtoehtoisten polttoaineiden käyttöä, moottorin valintaa sekä moottorikuorman optimointia. Myös laivan energiatehokkuuden vaikutusta mustahiilipäästöihin tulisi tutkia tarkemmin.

Mustahiilipäästöjen vähentämiseen tähtäävien ratkaisujen tulee toimia polaariolosuhteissa. Vapautusten tai helpotusten myöntämistä tulisi harkita, jottei merenkulku estyisi kokonaan tai etteivät päästörajoitukset tuota lisää päästöjä.

Suomen rooli tulevana Arktisen neuvoston puheenjohtaja maana, on rohkaista IMO:a jatkaamaan mustahiilityötä. Tiedon lisääminen varustamoille olisi tärkeää, jotta mustahiileen liittyvät erityisesti miehistöön kohdistuvat terveysvaikutukset tulisivat paremmin selville.



# LÄHTEITÄ JA TAUSTA-AINEISTOJA

## KPL 2:

Helsingin Sanomat (2015) Itämeren laivat vähärikkisiksi – avuksi pakokaasujen laatua mittaavat nuuskijat. Julkaistu 22.1.2015. Saatavilla: <http://www.hs.fi/talous/a1421898764220>

Hernesniemi, Hannu (2012) Merenkulun toimintaedellytykset, kilpailukyky ja julkisen talouden sopeuttamistoimet. Taustaselvitys valtiovarainministeriölle. ETLA keskusteluaiheita –Discussion Papers No 1270. Etlatieto Oy. ISSN 0781–6847

IMO (2014) IMO marine environment protection committee completes 66<sup>th</sup> session.  
<http://www.imo.org/en/MediaCentre/PressBriefings/Pages/10-MEPC-66-ends.aspx#.VpdQ608XfCo>

IMO (2015b) Polar code: <http://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/polar/Pages/default.aspx>

IMO, MARPOL, liite VI, sääntö 13: NO<sub>x</sub>  
<http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/Nitrogen-oxides-%28NOx%29-%E2%80%93-Regulation-13.aspx>

IMO, MARPOL, liite VI, sääntö 14: SO<sub>x</sub> ja pienhiukkaset  
<http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/Sulphur-oxides-%28SOx%29-%E2%80%93-Regulation-14.aspx>

Kaleva (2016) Rannikoille tulee pakokaasujen mittausasemia. 3.1.2016/Kirsi Turkki.

Kämäräinen, Jorma (2012) Merenkulun ilmansuojelumääräykset. MARPOL-koulutusta päästöviranomaisille. Esitys 10.12.2012.  
[http://www.trafi.fi/filebank/a/1355837278/135dfb76f87ab9adb9cf2b8e36d9e46d/10925-MARPOL\\_-\\_koulutusta\\_paastovalvontaviranomaisille\\_-\\_ilmansuojelu\\_10-12-2012.pdf](http://www.trafi.fi/filebank/a/1355837278/135dfb76f87ab9adb9cf2b8e36d9e46d/10925-MARPOL_-_koulutusta_paastovalvontaviranomaisille_-_ilmansuojelu_10-12-2012.pdf)

Royal Academy of Engineering (2013) Future ship powering options. Exploring alternative methods of ship propulsion. ISBN: 978-1-909327-01-6

## KPL 3:

Aboa Mare (2015), [www.aboamare.fi](http://www.aboamare.fi)

Etelä-Kymeenlaakson ammattiopisto (2015), [www.ekami.fi](http://www.ekami.fi)

IceTrain verkkosivut (2015), [www.icetrain.fi](http://www.icetrain.fi)

IMO Circular Letter No 3556 - Amendments to STCW

Kotka Maritime Centre (2015), [www.maritimekotka.fi](http://www.maritimekotka.fi)

Kymeenlaakson ammattikorkeakoulu (2015), [www.kyamk.fi](http://www.kyamk.fi)

Merenkulkualan toimijoiden workshop Turussa 29.11.2015

Novia ammattikorkeakoulu (2015), [www.novia.fi](http://www.novia.fi)

Winnova (2015), [www.winnova.fi](http://www.winnova.fi)

Keskeisten merenkulkualan toimijoiden haastattelut syksyllä 2015

KPL 4:

Alusten jääluokat (2015) [http://www.trafi.fi/merenkulku/alusten\\_jaaluokat](http://www.trafi.fi/merenkulku/alusten_jaaluokat)

Friman, S (2015) Selvitys merenkulkujärjestö IMO:n Polaarikoodista. Satakunnan ammattikorkeakoulu, Merenkulun koulutusohjelman opinnäytetyö.

Kämäräinen, J. (2015) Safety and environmental regulations of Polar Code. 10th ARCTIC PASSION SEMINAR-materiaali ja suullinen tieto Polarkoodin työpajassa 9.12.2015.

Laki alusten jääluokista ja jäänmurtaja-avustuksesta 1121/2005  
<http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2005/20051121>

Merilurvallisuusmääräys (2010) Jääluokkamääräykset ja niiden soveltaminen. Liikenteen turvallisuusvirasto TRAFI/31298/03.04.01.00/2010

NSR (2016) Northern Sea Route – information office. [http://www.arctic-liaison.com/nsr\\_transits#](http://www.arctic-liaison.com/nsr_transits#)

Trafi (2011). Guidelines for the application of the Finnish-Swedish ice class rules. TRAFI/21816/03.04.01.01/2011.

Toivola, J (2016] Suullinen tieto.

KPL 5:

Bergman, B. (2015) Varustamoiden näkemyksiä.  
[www.trafi.fi/tietopalvelut/tilaisuuksien\\_aineistot/painolastivesiyleissopimus](http://www.trafi.fi/tietopalvelut/tilaisuuksien_aineistot/painolastivesiyleissopimus)

BWTS Intelligence: Ballast Water Treatment Systems Catalogue 2015)  
<http://www.ballastwater-treatment.org/product-list/ballast-water-treatment-systems-catalogue>

Drillet G. et al (2013) Effects of temperature on type approval testing of ballast water treatment systems Integrated Environmental Assessment and Management Volume 9, Issue 2, pages 192–195, April 2013. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ieam.1394/full>

EMSA Ship Safety Legislation <http://www.emsa.europa.eu/implementation-tasks/ship-safety-standards/items.html?cid=92&id=512>

Erikson, L (2015 ) Painolastivesiyleissopimus - pääpiirteet ja voimaansaattaminen Suomessa. Liikenne- ja viestintäministeriö.  
[http://www.trafi.fi/tietopalvelut/tilaisuuksien\\_aineistot/painolastivesiyleissopimus](http://www.trafi.fi/tietopalvelut/tilaisuuksien_aineistot/painolastivesiyleissopimus)

Globalballast (2015) <http://globalballast.imo.org/>.

Hallituksen esitys eduskunnalle alusten painolastivesien käsittelyä koskevan kansainvälisen yleissopimuksen hyväksymisestä ja laeiksi sen lainsäädännön alaan kuuluvien määräysten voimaansaattamisesta, merenkulun ympäristönsuojelulain sekä alusturvallisuuslain muuttamisesta HE 122/2015 <http://www.finlex.fi/fi/esitykset/he/2015/20150122>

Koivistoinen, H. (2014) UV-LED -lamppujen soveltuminen laivojen painolastivesien käsitteilyyn. Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Teknillinen tiedekunta. Diplomityö.  
[https://www.doria.fi/xmlui/.../Diplomityö\\_Koivistoinen\\_Heli.pdf?...2](https://www.doria.fi/xmlui/.../Diplomityö_Koivistoinen_Heli.pdf?...2)

Laaksonen, J. (2010) Painolastiveden käyttö risteilylaivoissa. Opinnäytetyö Turun ammattikorkeakoulu, Kone- ja tuotantotekniikka | Laiva- ja venetekniikka.

Lloyd's (2015) Understanding ballast water management. [http://www.lr.org/en/\\_images/213-35824\\_Understanding\\_Ballast\\_Water\\_Management\\_0314\\_tcm155-248816.pdf](http://www.lr.org/en/_images/213-35824_Understanding_Ballast_Water_Management_0314_tcm155-248816.pdf)

Mäkinen, A (2015) Raportti IMO:n Meriympäristökomitean (MEPC) 68. istunnosta 11.5.–15.5.2015.

#### KPL 6:

Albrecht P (2012) Cleaning exhaust gases in shipping. *Elomatic News*. p. 21-24.

[http://www.elomatic.com/assets/files/publications/Elomatic\\_News\\_spring\\_2012/#24/z](http://www.elomatic.com/assets/files/publications/Elomatic_News_spring_2012/#24/z)

AMAP/Bluestein et al. (2008) Sources and Mitigation Opportunities to Reduce Emissions of Short-term Arctic Climate Forcers. AMAP Technical Report No. 2, Oslo, Norway.

AMAP (2011). *Snow, Water, Ice and Permafrost in the Arctic (SWIPA): Climate Change and the Cryosphere*. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), Oslo, Norway.

AMAP (2015) Black carbon and ozone as Arctic climate forcers. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), Oslo, Norway.

Amberla A (2015) Asiantuntija (Proventia Emission Control Oy) keskustelu (18.11.2015) liittyen laivojen suodattimiin.

AMSA (2015) Arctic Council, Arctic Marine Strategy Plan 2015-2025. Protecting Marine and Coastal Ecosystems in a Changing Arctic.

Arctic Council (2015) Framework: Enhanced Black Carbon and Methane Emissions Reductions: An Arctic Council Framework for Action. <http://www.arctic-council.org/index.php/en/expert-groups/339-egbcm>

Azzara et al (2015) Needs and opportunities to reduce black carbon emissions from maritime shipping. ICCT, Working paper 2015-2. Saatavilla:

[http://www.theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT\\_black-carbon-maritime-ship-ping\\_20150324.pdf](http://www.theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT_black-carbon-maritime-ship-ping_20150324.pdf)

Bengtson (2015) Laser-Induced Incandescence (LII) Combustion Physics, Lund University.

<http://www.forbrf.lth.se/english/research/measurement-methods/laser-induced-incandescence-lii/>

Bond et al. (2013) Bounding the role of black carbon in the climate system: A scientific assessment. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, , 118, 5380-5552

Brewer (2015) Arctic Black Carbon from Shipping. A Club Approach to Climate-and-Trade Governance. ICTSD Global Platform on Climate Change, Trade and Sustainable Energy. Global Economic Policy and Institutions. Issue Paper 4. ISSN 1995-6932

CCAC (2015) Annual Report September 2014-August 2015.

<http://www.ccacoalition.org/en/resources/ccac-annual-report-2014-2015>

CCAC & ICCT (2014) Marine Black Carbon Emissions: Identifying Research Gaps. A workshop report. Ottawa, Canada, 9.-10.9.2014.

[http://www.theicct.org/sites/default/files/Marine%20BC%20Workshop%20Summary\\_Final.pdf](http://www.theicct.org/sites/default/files/Marine%20BC%20Workshop%20Summary_Final.pdf)

CIMAC (2012) Background information on black carbon emissions from large marine and stationary diesel engines – definition, measurements methods, emission factors and abatement technologies.

CIMAC (2013) Influence on fuel quality on black carbon emissions in the Arctic region caused by international shipping. Comments to discussions at IMO by WG5.

CSNN (2015) Clean North Sea Shipping, Liquefied Natural Gas (LNG), <http://cleantech.cnss.no/air-pollutant-tech/nox/liquefied-natural-gas-lng/>

Corbett et al (2007) Mortality from Ship Emissions: A Global Assessment. *Environ. Sci Technol. Lett.* 41, 8512-8518.

Di Natale F & Carotenuto C (2015) Particulate matter in marine diesel engines exhausts: Emissions and control strategies. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 40, 166-191.

DNV GL (2014) Alternative fuels for shipping. DNV GL Strategic research & Innovation position paper 1-2014.

EU 2015: Regulation 2015/757. [http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv:OJ.L\\_.2015.123.01.0055.01.ENG](http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv:OJ.L_.2015.123.01.0055.01.ENG)

EU Maritime 2015. European Commission's study on LNG as a shipping fuel shows industry's support. [http://ec.europa.eu/transport/modes/maritime/news/2015-03-03-lng\\_en.htm](http://ec.europa.eu/transport/modes/maritime/news/2015-03-03-lng_en.htm)

Euroopan ympäristökeskus (2014) Air Pollution in Europe – 2014. Report. Luxemburg Publications Office of the European Union. <http://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2014>

ICCT (2014) Marine Black Carbon Emission: Identifying Research Gaps. Workshop report 9.-10.9.2014 Ottawa, Kanada. Saatavilla [http://www.theicct.org/sites/default/files/Marine%20BC%20Workshop%20Summary\\_Final.pdf](http://www.theicct.org/sites/default/files/Marine%20BC%20Workshop%20Summary_Final.pdf)

Ilmastopaneeli (2014) Musta hiili ilmastopakotteena: Päästöjen ja mahdollisten päästövähennysten globaalit ja alueelliset vaikutukset. Raportti. Saatavilla: [http://www.ilmastopaneeli.fi/uploads/selvitykset\\_lausunnot/Musta%20hiili%20ilmastopakotteena\\_Ilmastopaneelin%20raportti.pdf](http://www.ilmastopaneeli.fi/uploads/selvitykset_lausunnot/Musta%20hiili%20ilmastopakotteena_Ilmastopaneelin%20raportti.pdf)

IMO (2015a) IMO marine environmental protection committee complete 68th session. <http://www.imo.org/en/MediaCentre/MeetingSummaries/MEPC/Pages/MEPC-68th-session.aspx>

IMO Raportti (2015), Investigation of appropriate control measures (abatement technologies) to reduce black carbon emissions from international shipping.

Jalkanen et al (2014) A comprehensive inventory of the ship traffic exhaust emissions in the Baltic Sea from 2006 to 2009. AMBIO, 43: 311-324. <http://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2Fs13280-013-0389-3.pdf>

Johanssen, Keld (2015) Multi-catalytic soot filtration in automotive and marine applications. Catalysis Today 258, 2-10.

Kalli, Juha (2012) Selvitys IMO:n uusien määräysten vaikutuksista kuljetuskustannuksiin. Päivitys: Laivapolttoaineen rikkipitoisuus vuonna 2015.

Khan, M (2014) Current trends in water-in-diesel emulsion as a fuel. The scientific world journal, volume 2014, article ID 527472, 15 sivua. <http://www.hindawi.com/journals/tswj/2014/527472/>

Kirjonen, Aleksi (2013) Efficient dual water hybrid scrubber design parameters – for merchant ships. Opinnäytetyö, Turun ammattikorkeakoulu, 199p.

Kristensen, Ditte (2013) Black Carbon – How to reduce emissions from shipping. esityskalvot: Partnerskab for Grøn Skibsfart, 4.12.2013. Saatavilla: [http://www.maritimecenter.dk/public/dokumenter/Skibsteknisk/Foraar%202013/25.02.2013/BC\\_DKR\\_LI TEHAUZ\\_finished.pdf](http://www.maritimecenter.dk/public/dokumenter/Skibsteknisk/Foraar%202013/25.02.2013/BC_DKR_LI TEHAUZ_finished.pdf). Viitattu: 26.10.2015.

Kupiainen, Kaarle (2015) Mustan hiilen ja muiden lyhytikäisten ilmastoon vaikuttavien aineiden vaikutukset arktisella alueella. Arktisen alueen ympäristökysymykset ja hallinto-kurssi. Helsingin yliopisto. Luentomateriaali 16.3.2015.

Kupiainen & Rautalahti (2015) National Report by Finland – September 2015. Enhanced Black carbon and methane emissions reductions – an Arctic Council Framework for Action. [https://oaarchive.arctic-council.org/bitstream/handle/11374/1168/EDOCS-%232701-v1-Finland\\_2015\\_Black\\_Carbon\\_Methane\\_National\\_Report.PDF?sequence=1&isAllowed=y](https://oaarchive.arctic-council.org/bitstream/handle/11374/1168/EDOCS-%232701-v1-Finland_2015_Black_Carbon_Methane_National_Report.PDF?sequence=1&isAllowed=y)

Lack et al. (2012) Investigation of appropriate control measures (abatement technologies) to reduce black carbon emissions from international shipping. Study report. Litehauz. 118p.

Lack & Corbett (2012) Black carbon from ships: a review of the effects of ship speed, fuel quality and exhaust gas scrubbing. Atmos. Chem. Phys. 12: 3985-4000.

Leskinen, Tuomo (2012) Jääajomanuaali Neste shipping Oy:lle. Opinnäytetyö. Kymenlaakson ammattikorkeakoulu.

- Liikenne- ja viestintäministeriö (2014) Suomen meriliikennestrategia 2014-2022. <http://www.lvm.fi/documents/20181/797516/Julkaisuja+9-2014/7144ca93-55db-4470-89c9-ae5a67587b84?version=1.0>
- Mjelde et al. (2014) Environmental accounting for Arctic shipping- A framework building on ship tracking data from satellites. *Marine Pollution Bulletin* 87: 22-28. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X14004494>
- Neste (2014) <https://www.neste.fi/artikkeli.aspx?path=2589%2C2655%2C2698%2C8158%2C24127>
- Norsepower (2015) Apupurjelaite. <http://www.norsepower.com/>
- Petzold et al (2013) Recommendations for the interpretation of "black carbon" measurements. *Atmos. Chem. Phys. Discuss.* 13: 9485-9517.
- Pöschl (2003) Aerol particle analysis: challenges and progress. *Anal. Bioanal Chem* 375: 30-32.
- Ristimäki, J., Hellen, G., and Lappi, M. (2010) Chemical and Physical Characterization of Exhaust Particulate Matter from a Marine Medium Speed Diesel Engine, CIMAC Congress, Bergen, Norway.
- Roiger, A. et al. (2015), "Quantifying Emerging Local Anthropogenic Emissions in the Arctic Region: the ACCESS Aircraft Campaign Experiment", *Bull. Amer. Meteor. Soc.* March, 441-460, doi: <http://dx.doi.org/10.1175/BAMS-D-13-00169.1>.
- Rubbel M.M. (2015) Black Carbon Deposition in the European Arctic from the Preindustrial to the present. *Dissertationes Schola Doctoralis Scientiae Circumiectalis, Alimentariae, Biologicae* ISSN 2342-5423 (print), ISSN 2342-5431 (Online). <http://urn.fi/URN:ISBN:978-951-51-1204-0>
- Rudzki A & Carran A (2014) Assessment of Current and Future Air Pollution Emission Reduction Technologies for Marine Diesel Engines. Contract Report, Defence Research and Development Canada, Atlantic Research Centre.
- Suomen Arktinen Strategia (2013) Valtioneuvoston periaatepäätös 23.8.2013. Valtioneuvoston julkaisusarja 14/2013. <http://vnk.fi/documents/10616/334509/Arktinen+strategia+2013/fc8d6442-daa6-4e94-b774-84b863393977>
- Suomen Varustamot (2011) <http://www.shipowners.fi/fi/suomen+varustamot+ry/>
- Thomson et al. (2015) Natural gas as a marine fuel. *Energy Policy*, 87, 153-167.
- Trafi (2015) Suomen merenkulun tila 2015 – turvallisuus ja ympäristövaikutukset. <http://katsaukset.trafi.fi/media/katsaukset/merenkulku/suomen-merenkulun-tila-2015.pdf>
- Twigg, Martin (2009) Cleaning the air we breathe –Controlling diesel particulate emissions from passenger cars. *Platinum Metal Review* 53, 27-34.
- UNEP/WMO (2011) Integrated Assessment of Black Carbon and Tropospheric Ozone. [http://www.unep.org/dewa/Portals/67/pdf/BlackCarbon\\_report.pdf](http://www.unep.org/dewa/Portals/67/pdf/BlackCarbon_report.pdf)
- Vermeire M (2012) Everything you need to know about marine fuels. Belgium. [https://www.chevronmarineproducts.com/docs/Chevron\\_EverythingYouNeedToKnowAboutFuels\\_v3\\_1a\\_DESKTOP.pdf](https://www.chevronmarineproducts.com/docs/Chevron_EverythingYouNeedToKnowAboutFuels_v3_1a_DESKTOP.pdf)
- Vihanninjoki, Vesa (2015) Arktisen laivaliikenteen päästöt muuttuvassa ilmastossa. Suomen ympäristökeskus, esityskalvot 2.10.2015.
- Vihanninjoki, Vesa (2014) Arctic Shipping Emission in the Changing Climate. Reports of Finnish Environment Institute 41/2014
- Winther et al (2014) Emission inventories for ships in the Arctic based on satellite sampled AIS data. *Atmos. Environ* 91: 1-14. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231014001678>
- Wärtsilä Finland Oy (2012) Solutions for merchant vessels. <http://cdn.wartsila.com/docs/default-source/marine-documents/brochure-merchant.pdf?sfvrsn=10>

Wärtsilä Finland Oy (2014) The new Wärtsilä LNGPAC™ <http://cdn.wartsila.com/docs/default-source/product-files/oil-gas-solutions/fuel-gas-handling/brochure-o-ogi-lngpac-new.pdf?sfvrsn=2>

Wärtsilä Finland Oy (2015) Wärtsilä Environmental Technologies, Wärtsilä Environmental Product Guide. [http://www.offshore-europe.co.uk/\\_novadocuments/97125?v=635745406264070000](http://www.offshore-europe.co.uk/_novadocuments/97125?v=635745406264070000)

YM (2015) Pariisin ilmastokokous 29.11.-11.12.2015. [http://www.ym.fi/fi-fi/Ymparisto/Ilmasto\\_ja\\_ilma/Ilmastonmuutoksen\\_hillitseminen/Kansainvaliset\\_ilmastoneuvottelut/Pariisin\\_ilmastokokous\\_2015](http://www.ym.fi/fi-fi/Ymparisto/Ilmasto_ja_ilma/Ilmastonmuutoksen_hillitseminen/Kansainvaliset_ilmastoneuvottelut/Pariisin_ilmastokokous_2015)

## LIITE 1. Esimerkkejä Mustahiilen mittausmenetelmistä<sup>10</sup>

Menetelmä/ raportoitava arvo*	Laite	Kuvaus
Suodatus ja korkea lämpötila/ EC	<b>Orgaaninen hiili/alkuaine hiili (OC/EC)</b>	Mustahiili kerätään virrasta suodattimeen, jota kuumennetaan aluksi reagoimattomassa kaasuvirrassa kunnes haihtuva orgaaninen hiili (OC) on lähtenyt pois. Tämän jälkeen suodatin jäädytetään, jonka jälkeen kuumennetaan happi virrassa, jolloin alkuaine hiili (EC) reagoi muuttuen hiilidioksidiksi (CO <sub>2</sub> ). Muodostuneen hiilidioksidin määrä mitataan. Menetelmän avulla pystytään määrittämään ero haihtuvan orgaanisen hiilen (OC) ja ei-haihtuvan alkuaine hiilen (EC) välillä. Usein määritelläänkin ei-haihtuva alkuaine hiili kokonaishiilen (TC) palamattomaksi hiileksi eli TC = OC + EC. Menetelmän haasteena on orgaanisen hiilen nokeentuminen korkeassa lämpötilassa, jolloin sen haihtuminen huonontuu. Menetelmää on paranneltu nostamalla lämpötilaa vaihteittain, ja käyttämällä pyrolyysiä eli hajottamalla noki hiilen päältä kuumassa lämpötilassa ilman lisä happea. Pyrolyysiä seurataan optisilla heijastuksella (reflection) tai valon läpäisy (transmission) menetelmällä.
Hehkutus/ rBC	<b>Laser Induced Incandescence (LII)</b>	Laser-säde kuumennetaan nopeasti lämpötilaan, jossa mustahiilinäyte alkaa haihtua (n. 3700°C). Mustahiilen hehku mitataan käyttämällä optiikkaa ja valontunnistinta.
Suodatus ja optisuus/ eBC ja MAC	<b>Multi-Angle Ad- sorption Photome- ter (MAAP)</b>	Kaasuvirrassa oleva mustahiili kerätään lasikuitu suodattimelle. Osa tietyn aallonpituuden omaavasta valosta menee näytteen läpi, ja osa heijastuu takaisin. Mittausmenetelmän tarkoituksena on laskea, kuinka paljon valoa on mennyt läpi. Vaihtoehtoisesti MAAP antaa valoa imevän hiilen (light absorbin carbon (LAC) paino pitoisuuden, mutta se vaatii tietämyksen imeytymistehosta.
	<b>Filter smoke num- ber (FSN)</b>	Suodattimen tummumista mitataan, kun savukaasu syötetään sen läpi. Tummentunut suodatin mitataan optisesti heijastamalla valo ja mittaamalla imeytyneen valon määrä. Menetelmän heikkoutena on että siinä oletetaan noen merkitsevän samaa kuin mustahiili. Suodattimelle kerätään vain pieni määrä näytettä. Siksi vaaditaan useita näytteitä, jotta saadaan keskiarvo tuloksista. Mittausaika voi vaihdella paljonkin, sillä uusissa diesel-mootoreista tulee hyvin vähän päästöjä. Mittaus vaatii myös tasaisen syötön, jolloin vaihtelevat olosuhteet eivät sovellu.
Optisuus/ δ <sub>ap</sub> tai eBC	<b>Micro Soot Sensor (MSS)</b>	Laimennettu näyte syötetään mittauskammioon. Näytettä säteilytetään moduloidulla laser-säteellä, jolloin näyte kuumenee ja alkaa värähdellä. Tämä aiheuttaa paine sykkeitä eli ääni aaltoja, jotka mitataan mikrofonilla. Saatu signaali vahvistetaan esivahvistimessa ja suodatetaan ja äänitetään. Mustahiili päästöjen reaaliaikaiseen mittaamiseen vaaditaan vielä erityistoimenpiteitä.
	<b>Photoacoustic spec- trometer (PAS)</b>	Valoa imevät mustahiili hiukkaset johdetaan reagoimattoman kaasuvirran avulla onkaloon, jossa niihin kohdistetaan laser-valoa. Kun hiukkanen imee itseensä valoa, se kuumenee. Tästä muodostunut lämpö aiheuttaa kaasuvirrassa paineen nousun. Herkkiä mikrofoneja käytetään mittaamaan paineen noususta aiheutunutta akustista aaltoa. Saatua tietoa käytetään mittaamaan virrassa olevan mustahiilen määrää. Menetelmän heikkoutena on sen kallis hinta ja ettei se ole vielä standardoitu.

\* EC = alkuaine hiili,  
eBC = ekvivalentti hiili,  
δ<sub>ap</sub> = hiukkasen valon adsorption vakio,  
MAC = massa spesifinen adsorptio poikkileikkaus-arvo  
rBC = heijastava musta hiili

<sup>10</sup> Lähde: CIMAC (2012)



## LIITE 2. ilmanpäästömenetelmän soveltuvuus mustahiili (BC) torjuntaan <sup>11</sup>

Ilmanpäästömenetelmä:	kuvaus:	Vaikutus mustahiili (BC) päästöille:
Polttoaineen polton tehostaminen Moottorissa	Diesel-polttoaineen tehokas palaminen tuottaa vähemmän CO <sub>2</sub> ja epätäydellisen palamisen tuotteita	Vain <u>vähäinen</u> vaikutus, sillä nykyiset moottorit jo tehokkaita
Matkanopeuden alentaminen ja moottorin säätö (SSDR)	Vähennetään laivan energiakulutusta laivan ja moottorin suunnittelulla sekä sääolosuhteiden huomioimisella	Merkittävä vaikutus BC -päästön määrään, koska polttoaineen kulutus vähentyy
Polttoaineen rikin määrän vähentäminen (HDO → MDO tai LFO)	Rikin määrällä polttoaineessa on havaittu olevan vaikutusta partikkeleiden (PM) muodostumiseen	Rikin määrällä polttoaineessa <u>ei ole vaikutusta</u> BC:n muodostumiseen.
Nesteytetty maakaasu (LNG)	Käytetään metaanipohjaista polttoainetta	Ei ole olemassa tietoa miten vaikuttaa BC:hen, koska PM päästöjä vähäinen.
Biopolttoaineet tai metanoli –dimetyylieetteri (DME)	käyttää polttoainetta, jossa vähemmän aromaattisia yhdisteitä, enemmän happea ja korkeampi setaani-luku	Ei ole olemassa tietoa miten vaikuttaa BC:hen, koska PM päästöjä vähäinen.
Polttoaineen syötön venttiilin suunnittelu	Estää polttoaineen tahaton haihtuminen poltossa	<u>Voi toimia</u> 2-tahtimoottoreilla, mutta ei 4-tahtimoottoreilla
Paineen nosto polttoaineen syötössä	Polttoaine syötön suunnittelun muuttaminen	Alhaisen lastin laivoilla poistaa tehokkaasti BC:tä
Vesi-polttoaine-emulsio (WIFE)	parantaa polttoainepisaroiden leviämistä ja muuttaa polttoaine-vesi seoksen höyryksi	<u>Voi toimia</u> vanhoille moottoreille, mutta uudet ovat jo riittävän tehokkaita
Pakokaasun kierrätys (EGR)	Kierrätetään osa pakokaasusta takaisin polton syöttöilmaan, jolloin palolämpötila ja hapen määrä laskee. Vähentää erityisesti NO <sub>x</sub> -päästöjä.	Ei poista BC:tä, vaan jopa on havaittu pahentavan ongelmaa, mikäli käytetään korkearikkistä polttoainetta.
Hiukkasuodattimet (DPF)	Vähärikkisen polttoaineen pakokaasussa olevat partikkelit jäävät kiinni suodattimeen, mutta kaasu pääsee eteenpäin. Vähentävät erityisesti PM-päästöjä.	Suodattimen puhdistus on isoilla laivoilla ongelma. Ei toimi BC:n puhdistukseen.
Pussisuodattimet ja sähköiset saostajat (ESP)	Pakokaasu johdetaan erottimen kautta, joka kaappaa varautuneet hiukkaset kaasuvirrasta. Vähentää erityisesti PM-päästöjä.	Kokeiluissa päästy jopa 50-95% BC, riippuen polttoaineesta (MDO), ja BC:n koosta
Selektiivinen katalyyttinen pelkistys (SCR)	Pakokaasu johdetaan katalyytin läpi, jossa kemiallisia reaktioita käyttäen urea pelkistintä. Vähentää erityisesti NO <sub>x</sub> -päästöjä.	Hyvin vähän tietoa vaikuttaako BC:n määrää. Apumoottori SCR-kokeissa havaittu jopa 35% BC:n määrän vähentyminen. HFO:n sisältämä vanadiini katalysoi BC:n poistoa
Diesel hapetuskatalyytti (DOC)	Vähärikkisen polttoaineen pakokaasu johdetaan katalyytin läpi, jossa kemiallisia reaktioita. Vähentää erityisesti CO, CH <sub>4</sub> -päästöjä.	BC:n määrän vähentämiseen erittäin pieni vaikutus
Rikkipesurit	Rikkipitoinen pakokaasu pestään käyttäen emäspitoista vettä (merivesi tai lisätty emäs). Vähentää erityisesti SO <sub>x</sub> - ja PM-päästöt.	Ei tarkkaa tietoa, kuinka paljon poistaa BC:tä. Riippuu aluksen lastista, aluksesta sekä pesurytyypistä

<sup>11</sup> [Lack 2012, CIMAC 2012, CCAC&ICCT 2014]

## LIITE 3. PAINOLASTIVESIEN KÄSITTELYMENETELMÄT <sup>12</sup>

Process	Method	Benefit	Considerations	Comments
Solid-liquid separation				
Filtration	Generally using discs or fixed screens with automatic backwashing	Effective for larger particles and organisms	Maintaining flow with minimum pressure drop requires backwashing. Low membrane permeability means surface filtration of smaller micro-organisms is not practical.	Mesh sizes are proportional to size of organism filtered (e.g., larger organisms such as plankton require mesh between 10 and 50 µm)
Hydrocyclone	High velocity centrifugal rotation of water to separate particles	Alternative to filtration and can be more effective	Effective only for larger particles	Effectiveness depends on density of particle and surrounding water, particle size, speed of rotation and time
Coagulation	Optional pre-treatment before separation to aggregate particles to increase their size	Increasing size of particles increases efficiency of filtration or hydrocyclone separation	May require additional tank space to store water which has been treated due to long residence time for process to be effective	Ballasted flocculation uses ancillary powder (e.g., magnetite or sand) to help generate flocs which settle more quickly
Chemical disinfection (oxidising biocides)				
Chlorination	Classed as an oxidising biocide that, when diluted in water, destroys cell walls of micro-organisms	Well established and used in municipal and industrial water disinfection applications	Virtually ineffective against cysts unless concentration of at least 2 mg/l used. May lead to by-products (e.g., chlorinated hydrocarbons/trihalomethanes)	Efficiency of these processes varies according to conditions of the water such as pH, temperature and type of organism
Electro-chlorination	Creates oxidising solution by employing direct current into water which creates electrolytic reaction	As chlorination	As chlorination. Brine, needed to produce the chlorine, can be stored on board the vessel as feedstock for the system	Upstream pre-treatment of the water is desirable to reduce the 'demand' on the chlorination process
Ozonation	Ozone gas (1–2 mg/l) is bubbled into the water which decomposes and reacts with other chemicals to kill micro-organisms	Especially effective at killing micro-organisms	Not as effective at killing larger organisms. Produces bromate as a by-product. Ozonate generators are required in order to treat large volumes of ballast water. These may be expensive and require sufficient installation space	Systems in which chemicals are added normally need to be neutralised before discharge to avoid environmental damage in the ballast water area of discharge. Most ozone and chlorine systems are neutralised but some are not.
Chlorine dioxide	As chlorination	Effective on all micro-organisms as well as bacteria and other pathogens. It is also effective in high turbidity waters as it does not combine with organics.	Reagents used can be chemically hazardous	Chlorine dioxide has a half life in the region of 6–12 hours, according to suppliers, but at the concentrations at which it is typically employed it can be safely discharged after a maximum of 24 hours.
Peracetic acid and hydrogen peroxide	As chlorination	Infinitely soluble in water. Produces few harmful by-products and relatively stable.	Reagent is typically dosed at high levels, requires suitable storage facilities and can be relatively expensive	
Chemical disinfection (non-oxidising biocides)				
Menadione /vitamin K	Menadione is toxic to invertebrates	Natural product often used in catfish farming but produced synthetically for commercial use. Safe to handle.	Treated water will typically require neutralising before discharge	
Physical disinfection				
Ultraviolet (UV) irradiation	Amalgam lamps surrounded by quartz sleeves produce UV light which denatures the micro-organism's DNA and prevents it from reproducing	Well established, used extensively in municipal and industrial water treatment applications. Effective against wide range of micro-organisms	Relies on good UV transmission through the water. Hence, needs clear water and unfouled quartz sleeves to be effective	Can be enhanced by combining with other reagents such as ozone, hydrogen peroxide or titanium dioxide
Deoxygenation	Reduces pressure of oxygen in space above the water with inert gas injection or by means of a vacuum to asphyxiate the micro-organisms	Removal of oxygen may result in a decrease in corrosion propensity. If an inert gas generator is already installed on the ship, deoxygenation plant would take up little additional space.	Typically, the time required for organisms to be asphyxiated is between one and four days	Process has been developed specifically for ballast water treatment whereby the de-aerated water is stored in sealed ballast tanks
Cavitation	Induced by ultra-sonic energy or gas injection. Disrupts the cell wall of organisms.	Useful as pre-treatment to aid overall treatment process	Must be used in conjunction with additional treatment process downstream in order to kill all micro-organisms	
Pressure/vacuum	The majority of organisms are eliminated with a low temperature boiling condition. However, the process does not eliminate all of the bacteria.	Easy installation with a small footprint as the process does not require filters, chemicals and neutralisers.	Must be used in conjunction with additional treatment process to kill bacteria. Sediment build up must be managed as the process does not use filter.	

<sup>12</sup> Lähde: (Llyoid's 2

VALTIONEUVOSTON  
SELVITYS- JA TUTKIMUSTOIMINTA

[vn.fi/teas](http://vn.fi/teas)

ISSN 2342-6799 (pdf)  
ISBN 978-952-287-219-7 (pdf)