

Antti Pulkkinen

# SLOW STEAMINGIN VAIKUTUKSET ALUKSELLE JA KULJETUSKETJULLE

Opinnäytetyö  
Merenkulkualan insinööri

Syyskuu 2016

<b>Tekijä/Tekijät</b>	<b>Tutkinto</b>	<b>Aika</b>
Antti Pulkkinen	Insinööri (AMK), Merenkulku	Syyskuu 2016
<b>Opinnäytetyön nimi</b>		
Slow steamingin vaikutukset alukselle ja kuljetusketjulle		43 sivua
<b>Toimeksiantaja</b>		
Merenkulun ja logistiikan painoala; Kyamk		
<b>Ohjaaja</b>		
Lehtori Ari Helle		
<b>Tiivistelmä</b>		
<p>Konttirahtialusten ylikapasiteetti, vähentynyt kysyntä sekä tiukentuvat ympäristömääräykset pakottavat varustamoita muuttamaan toimintatapojaan. Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan konttirahtialuksen liikennöinti nopeuden alentamisesta johtuvia haasteita alukselle sekä pidentyneistä toimitusajoista aiheutuvia vaikutuksia laivaajalle. Alus, jota työssä tarkastellaan, on konttirahtialus, jossa on hidaskäyntinen kaksitahtimoottori ja kiinteälapainen potkuri.</p> <p>Työssä käydään läpi yleisimmät slow steamista aiheutuvat ongelmat ja ratkaisut niihin. Työssä hyödynnetty lähdemateriaali on pääosin englanninkielistä, ja se on otettu moottorinvalmistajien kotisivuilta tai huolto- ja käyttöilmoituksista.</p> <p>Slow steam tarjoaa varustamoille oikein hyödynnettynä mahdollisuuden kulujen ja päästöjen alentamiseen, mutta se vaatii investointeja ja miehistön kouluttamista. Kuljetusaikojen pidentyminen lisää työtä kuljetusten suunnitteluun, nostaa varaston arvoa ja hidastaa yrityksen kykyä reagoida markkinatilanne-muutoksiin. Jotta slow steam olisi hyödyllinen varustamoille ja kuljetusten tilaajille, vaati se myös enemmän yhteistyötä molempien osapuolien välillä.</p>		
<b>Asiasanat</b>		
slow steaming, kuljetusketju, pakokaasukattila, voiteluöljy		

<b>Author (authors)</b>	<b>Degree</b>	<b>Time</b>
Antti Pulkkinen	Maritime Engineer	September 2016
<b>Thesis Title</b>		
Slow Steaming challenges on Vessel and Transport Chain		43 pages
<b>Commissioned by</b>		
Merenkulun ja logistiikan painoala; KYAMK		
<b>Supervisor</b>		
Ari Helle, Senior Lecturer		
<b>Abstract</b>		
<p>Overcapacity of container cargo ship, decline in demand and tightening environmental regulations are forcing shipping companies to change the way they operate. This thesis examines the challenges arising from operating speed reduction of container cargo ship as well as extended delivery times to the transport chain. The vessel which will be discussed in this thesis is a container cargo ship with a low-speed two-stroke engine and a fixed blade propeller.</p> <p>The study covers the most common problems and solutions arising from slow steaming. The material for this thesis is mainly in English and has been acquired from the engine manufacturer's web site or service bulletins.</p> <p>Slow steam offers shipping companies, if properly implemented, the ability to reduce costs and emissions, but it requires investments and crew training. Longer transport times will bring additional work for transport planning, increase the value of inventory and slow down the company's ability to react to market changes. In order for slow steam to be beneficial to shipping companies and the transport subscribers, it demands more cooperation between the two parties.</p>		
<b>Keywords</b>		
slow steaming, transport chain, exhaust gas boiler, lubrication oil		

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	MARKKINATILANNE.....	5
3	TOIMITUSKETJU.....	9
4	POLTTOAINEEN KULUTUS JA PÄÄSTÖT .....	12
5	SLOW STEAMING VAIKUTUKSET ALUSKAPASITEETTIIN JA AIKATAULUIHIN ...	14
6	SLOW STEAMING HAASTEET PÄÄMOOTTORILLE.....	16
6.1	Nokka-akseli moottori .....	20
6.2	Common rail -moottori .....	21
6.3	Moottorin käyttösuositukset slow steam operoinnissa .....	22
7	KATTILAN LIKAANTUMINEN .....	24
7.1	Kattilan puhdistaminen .....	25
7.2	Noen kerääminen aluksella .....	25
7.3	Nokipalot kattilassa.....	26
7.4	Noen aiheuttamat ongelmat kattilan pakopuolella .....	26
7.5	Kattilaveden käsittely .....	27
7.6	Kattilakiven aiheuttamat ongelmat .....	28
7.7	Käyttösuositukset.....	29
8	ALUKSEN RUNGON VÄRÄHTELYT.....	29
9	RUNGON JA POTKURIN LIKAANTUMINEN .....	31
9.1	Rungon likaantuminen .....	31
9.2	Potkurin likaantuminen .....	32
10	SLOW STEAM KIT .....	34
10.1	Turboahtimen sulkeminen .....	34
10.2	Slide polttoaineventtiili .....	35
10.3	Sylinterin voitelujärjestelmä .....	36
10.4	Moottorin uudelleen luokitus .....	37
11	JOHTOPÄÄTÖKSET .....	38
	LÄHTEET.....	<b>ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.</b>

## 1 JOHDANTO

Kiristynvä lainsäädäntö ja asetukset, varustamoiden keskinäisen kilpailun kiristyminen markkinaosuuksista sekä taantuva globaali taloustilanne ajavat varustamoita etsimään erilaisia ratkaisuja, joilla voidaan tehokkaimmin säilyttää varustamon kyky täyttää osakkeenomistajien taloudelliset vaatimukset sekä viranomaisten asettama lainsäädäntö. Tehokkaimmaksi keinoksi vähentää päästöjä sekä polttoaine ja voiteluöljykustannuksia on havaittu slow steaming. Slow steamingilla tarkoitetaan aluksen päämoottorin pyörimisnopeuden laskemista, mikä vaikuttaa suoraan aluksen liikennöintiinopeuteen. Laskemalla aluksen liikennöintiinopeutta, alennetaan polttoaineen ja voiteluöljyn kulutusta ja näin vähennetään päästöjä. Alennettu liikennöintiinopeus pidentää kuljetusaikaa ja aiheuttaa muutoksia ja haasteita alukselle sekä kuljetusketjuun aina loppuasiakkaalle asti. Varustamot ovat kuitenkin olleet halukkaita operoimaan aluksiaan alennetulla nopeudella huolimatta pidentyneistä kuljetusajoista. Tämä johtuu siitä, että polttoaine ja voiteluöljykustannukset yhdessä muodostavat aluksen operointikustannuksista jopa yli puolet.

Tässä opinnäytetyössä tullaan keskittymään slow steamingin haasteisiin ja vaikutuksiin aluksen päämoottorille, pakokaasu- ja apukattilalle, rungolle ja potkurille, sekä laivaajalle tuleviin haasteisiin kuljetusketjussa. Tarkastelun kohteeksi on valittu konttirahtialus, jossa on hidaskäyntinen kaksitahtimoottori ja kiinteäalapainen potkuri. Kuljetusketjun osalta tarkastelu keskittyy pääosin pidentyneistä kuljetusajoista aiheutuviin haasteisiin ja lisätöihin laivaajalle. Tarkasteltava kuljetusreitti on konttialuksen matka Kiinasta Eurooppaan.

## 2 MARKKINATILANNE

Merikuljetukset ovat avainasemaassa globaalissa logistiikassa, koska se on suhteellisen edullinen tapa siirtää suuria tavaramääriä paikasta toiseen. Niinpä noin 90 % maailman rahdista kuljetetaan ainakin osan matkastaan meriteitse. Maailman talouden tapahtumat heijastuvat myös laivarahtiliikenteen rahdinkuljetusmääriin ja sillä on siten myös suora vaikutus konttirahdista maksettaviin hintoihin. Rahtihintoihin vaikuttavat myös kokonaisaluskapasiteetti, polttoaineen hinta ja kysynnän kausivaihtelut.

Globaali talous kasvoi usealla prosentilla vuosittain koko 2000-luvun ajan, joten varustamot tilasivat suuria määriä uusia aluksia ennen vuonna 2008 alkanutta talouden taantumaa. Globaali konttirahtien kuljetusmäärä putosi vuodessa yli 9 % Drewry Shipping Consultantsin mukaan. Rahtihinnat laskivat pahimmillaan 50 %, mikä tarkoitti, että 12 % konttialuskapasiteetista oli poissa käytöstä. Varustamoiden yhteenlaskettu tappio vuonna 2009 oli noin 20 miljardia dollaria. Kuljetusmäärien rajusta laskemisesta johtuen varustamot alkoivat perua uusien aluksien tilauksiaan ja viivästyttää niiden toimituksia. Tästä huolimatta ala on kärsinyt alusten ylikapasiteetista, mikä on vaikuttanut osaltaan rahtihintojen matalaan tasoon (1).

Varustamoiden tappiollisista tuloksista huolimatta vuodesta 2008 alkaen alalla ei ole tapahtunut suurien konttirahtivarustamoiden konkurssseja ennen vuoden 2016 syyskuuta, jolloin korealainen varustamo Hanjin teki konkurssin. Hanjin on maailman seitsemänneksi suurin konttirahtivarustamo, jonka globaali markkinaosuus on 2,9 %. Konkurssi aiheuttaa suuren ongelman koko logistiikkaketjulle, koska aluksilla olevia kontteja ei saada purettua. Satamat, varastot ja kuljetusyrietykset eivät ota vastaan Hanjinin kontteja, koska on oletettavissa, ettei Hanjin kykene maksamaan käytetyistä palveluista. Yhtenä syynä Hanjinin tekemään konkurssiin pidetään yrityksen hankkimia suuria aluksia, joilla on pyritty saamaan yksikkökustannukset mahdollisimman pieneksi. Täten varustamolle jäisi parempi kate jokaisesta kuljetetusta kontista. Suurien alushankintojen takia yritys on pahasti velkaantunut ja suurilla aluksilla saatavaa yksikkökustannusetua ei ole saatu hyödynnettyä, koska markkinoilla vallitsee kova kilpailu ja konttirahdeista maksettavat hinnat ovat olleet pitkään kustannuksia alempia (2).

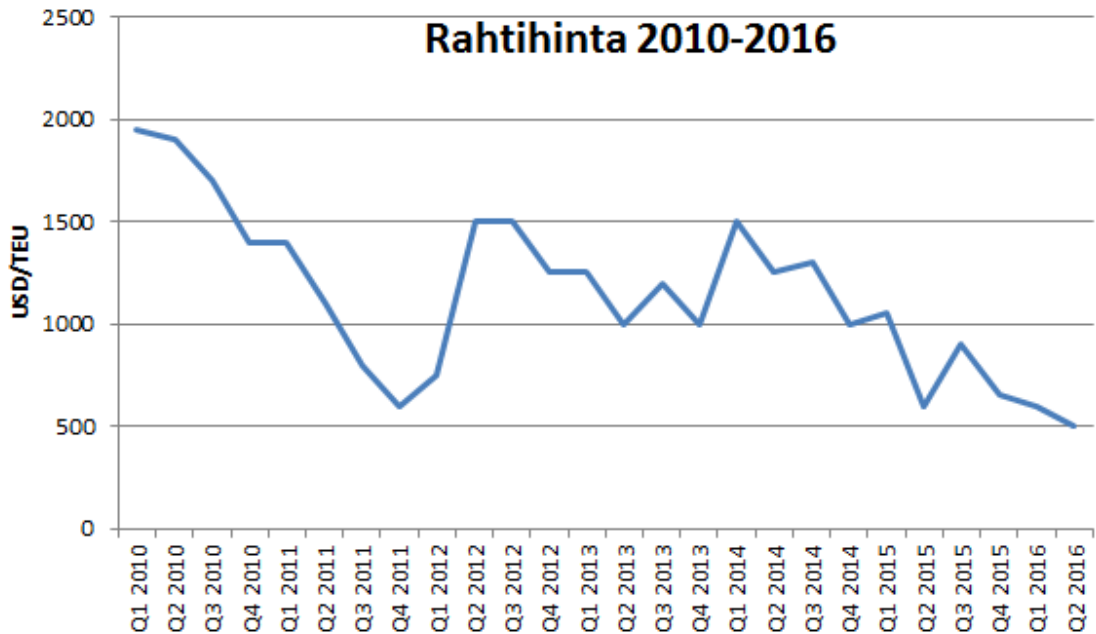
Varustamot ovat muodostaneet lentoyhtiöiden tapaan keskenään alliansseja, joilla pyritään saamaan aikaan kustannus- ja kilpailuetua tekemällä yhteistyötä kilpailevan varustamon kanssa. Alalla on neljä suurta allianssia, jotka kuljettavat noin 90 % kaikesta rahdista.

## Suurimmat allianssit (3).

Allianssi	Varustamot	Kuljetuskapasiteetti	Markkinaosuus
2M	Maersk, MSC	5,7 miljoonaa TEU:ta	28 %
G6	NYK-Line, Hapag Lloyd, OOCL, APL, HMM, MOL	3,5 miljoonaa TEU:ta	17 %
CKYHE	Cosco, K-Line, Yang Ming, Hanjin, Evergreen	3,3 miljoonaa TEU:ta	16 %
Ocean 3	CMA-CGM, UASC, China Shipping	3 miljoonaa TEU:ta	15 %

Alliansseista laivaajat hyötyvät niin, että varustamot voivat tarjota useammasta satamasta palvelun ilman, että varustamo joutuu hankkimaan uuden aluksen. Allianssit aiheuttavat haasteita kuitenkin joissain tilanteissa esimerkiksi pidentämällä kuljetusaikoja, koska aluksen pitää käydä useammassa terminaalissa samassa satamassa. Ongelmia voi muodostua myös aikataulujen paikkaansa pitävyydessä. Esimerkiksi 2M allianssin varustamot edustavat aikataulun pitävyydessä ääripäitä, jossa Maersk on aikataulullisesti luotettavin ja MSC vastaavasti on yksi heikoimmin aikataulussa pysyvä varustamo.

Suurimpana kysynnän toistuvana vuosittaisena kausivaihteluna on perinteisesti ollut kiinalainen uusivuosi, joka ajoittuu tammi-helmikuun vaihteeseen. Tuotantolaitokset Kiinassa ovat pyrkineet saamaan tuotteensa ulos ennen tehtaiden sulkemista uudenvuoden ajaksi. Tämä on aiheuttanut kysyntäpiikin merirahdeille, jolloin varustamot ovat pyrkineet hyödyntämään tämän korottamalla rahtihintoja Peak season – lisällä. Kuitenkin kokonaiskysynnän lasku ja alusten ylikapasiteetti on aiheuttanut sen, ettei Peak season – lisää ole onnistuttu veloittamaan viime vuosina ja se on pahentanut osaltaan varustamoiden taloudellista ahdinkoa. Alla on kuvaaja, jossa on laskettu kvartaalin keskiarvo konttirahtihinta välillä Shanghai – Rotterdam. Kuvaaja osoittaa selkeästi konttirahtihintatrendin olevan laskusuuntainen. Varustamoiden ilmoittamat GRI:t eli rahtihintojen korotusyritykset, ovat nopeasti sulaneet pois ja hintojen lasku jatkuu edelleen. Yksittäiset viikkojen hinnat ovat alimmillaan käyneet tasolla USD 300 / TEU.



Kuva 1. Konttirahtihinnan muutokset Shanghai – Rotterdam 2010 - 2016. (4).

Rahtihintojen jatkuvat muutokset ja pitkäaikainen hintojen laskeva trendi kaikkien aikojen alimmalle tasolle on aiheuttanut varustamoille paineita etsiä lisää keinoja slow steamin tueksi, jotta kyetään toimimaan kannattavasti haastavassa markkina tilanteessa. Drewry Maritime Research on arvioinut, että varustamon kulut 20 jalan konttia kohti ovat noin USD 800. Niinpä varustamot pyrkivät pienentämään yksikkökustannuksia per kuljetettu kontti ja tästä johtuen alusten koko on jatkuvasti kasvanut. Tällä hetkellä suurimmat konttialukset kykenevät kuljettamaan noin 18 000 kappaletta 20 jalan konttia. Varustamot selvittävät edelleen mahdollisuutta nostaa alusten kokoa ja suunnitelmissa on rakentaa aluksia, jotka kykenevät kuljettamaan 24 000 kappaletta 20 jalan konttia (5).

Alusten koon kasvattaminen laskee kuljetuskustannuksia konttia kohden ja siitä syystä varustamot ovat halukkaita alusten koon kasvattamiseen. Konttialusten koon kasvattamisella on kuitenkin vaikutuksia muuhun kuljetusketjuun. Ne edellyttävät esimerkiksi infrastruktuurin muutoksia, investointeja suurempaan nosturikalustoon ja enemmän kontinkäsittelylaitteistoa. Tarvitaan myös tuottavuuden kasvua, mikä osaltaan lisää satamaoperaattoreiden, viranomaisten ja muiden sidosryhmien kustannuksia kuljetusketjussa. Suuret alukset aiheuttavat ruuhkapiikkejä



satamaoperaatioissa sekä satamissa laivaajille suuntautuviissa sisämaan jatkokuljetuksissa, jolloin on vaarana, että lisäinvestoinnit ovat suurimman osan ajasta ylimitoitettuja. Näin ollen ne aiheuttavat turhia kuluja satamille ja kuljetus- ja varastointiyrityksille. Infrastruktuuri aiheuttaa rajoitteita aluskokoon, esimerkiksi siltojen korkeuksien takia. Aluskoon kasvaessa myös korkeus kasvaa, jolloin jotkin satamat eivät voi ottaa vastaan suuria konttialuksia, koska siltojen korkeudet eivät riitä tähän. Väylien ja kanavien leveydet sekä syvyydet tulevat myös riittämättömiksi, mikä tarkoittaa, että alukset eivät pysty ohittamaan kanavassa toisiaan, koska turvaetäisyydet jäävät liian pieniksi. Tämä aiheuttaa sen, että liikenne satamiin muuttuu yksisuuntaiseksi, jolloin odotusajat satamiin kasvavat ja tämä ruuhkauttaa sataman muiden käyttäjien operointia. Syvyyden kasvu tarkoittaa sitä, että laiva pystyy operoimaan joihinkin satamiin ainoistaan silloin kun vuorovesi on korkealla. Laiturien pituudet ja lastinkäsittelyjärjestelmät vaativat lisäinvestointeja. Konttinosturien kokoa ja määrää joudutaan tällöin nostamaan, jotta suurempia aluksia ja suurempia ruuhkapiikkejä varten löytyy riittävästi kalustoa. Suurten alusten vakuutettavuuden suhteen liittyy omat haasteensa ja kasvaneet vakuutusmaksut. Aluksen koon ja lastin suuren arvon johdosta pelastuskustannukset nousevat moninkertaiseksi esimerkiksi tulipalon, karille ajon tai törmäyksen tapahduttua pienempiin aluksiin verrattuna. Vuonna 2011 konttialus Rena ajoi karille Taurangan lahdella Uudessa Seelannissa. Aluksen kuljetuskapasiteetti oli 3351 TEU:ta. Haveri aiheutti 1 miljardin dollarin lastitappiot ja pelastusoperaatio kesti seitsemän kuukautta (5).

### 3 TOIMITUSKETJU

Toimitusketju on toimintojen kokonaisuus, jossa tavarat liikkuvat raaka-ainevaiheesta valmiiksi tuotteeksi lopulliselle käyttäjälle. Loppukäyttäjä voi olla yksittäinen kuluttaja, yritys tai organisaatio. Toimitusketjun hallinta muodostuu kolmesta komponentista: materiaalivirrasta, rahavirrasta ja informaatiovirrasta. Ketjun muodostavat myös kaikki organisaatiot ja prosessit, jotka osallistuvat virtojen käsittelyyn.

Maersk Linen aloittaessa ensimmäisenä varustamona slow steamingin vuonna 2007, seurasivat muut varustamot nopeasti perässä. Slow steamingin,

sekä toimitusketjujen laajentuminen koko maailman laajuiseksi on lisännyt kuljetusten määrää ja pidentänyt toimitusketjuja. Lisääntyneistä kuljetusmääristä huolimatta ketjun pidentyminen ei kuitenkaan saa aiheuttaa kulujen kohoamista, vaan tavoitteena on saada edelleen laskettua tuotanto-, varastointi- ja kuljetuskustannuksia.

Kuljetusaika Kiinasta Pohjois-Euroopan pääsatamiin, kuten Bremerhaveniin, Hampuriin ja Rotterdamiin kestää normaalilla liikennöintinopeudella noin 25 päivää. Feeder - matka, kontin purku aluksesta, siirrot ja uudelleenlastaus lisäävät kuljetusaikaa Pohjois-Euroopan pääsatamista Suomeen noin 5 – 7 päivää. Jos aluksen liikennöintinopeutta Kiinasta Eurooppaan pudotetaan noin kahdestakymmenestäviidestä solmusta kahteenkymmeneen, tuo se tällöin kuljetusaikaan 3 - 4 päivää lisää. Nopeuden laskeminen 17 solmuun lisää kuljetusaikaa viikolla verrattaessa maksimi liikennöintinopeuteen. Jotta slow steamingista laivaajille tullut haaste ei vaikuttaisi toimitusvarmuuteen ja asiakastyytyväisyyteen, vaatii se entistä suurempaa panostusta logistiikkaketjun läpinäkyvyyteen ja hallintaan (6).

Pidentyneen kuljetusajan tuomat lisähaasteet laivaajalle:

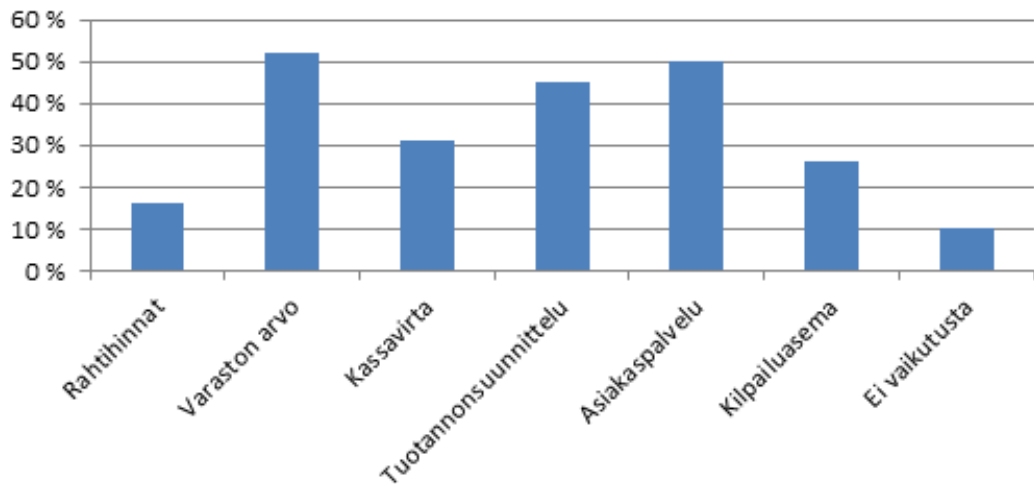
- Kuljetusten siirtäminen useammalle varustamolle tai huolitsijalle lisää kuljetusvarmuutta. Tämä kuitenkin lisää entisestään suunnittelua ja valvontaa, jotta tuotteet kuljetetaan oikeilla kuljetusyhtiöillä, sekä varmistetaan, että kaikista kuljetuksista on saatu tarjous ja sopimus. Kuljetukset pitää myös laskuttaa sovituin hinnoin.
- Varaston arvon kasvu sitouttaa pääomaa turhaan ja voi johtaa tarpeettomaan varastokapasiteetin kasvattamiseen, mikä pahimmillaan aiheuttaa yritykselle likviditeettiongelmia. Ylimitoitettu varasto pienentää varaston kiertonopeutta, mikä kasvattaa riskiä, että tuotteita ei saada ajoissa kaupaksi. Tämä muodostuu haasteeksi erityisesti aloilla, joissa tuotteiden uudistuminen on todella nopeaa, kuten elektroniikkatuotteet.
- Kuljetusten pilkkominen useampaan lähetykseen täysistä konteista (FCL) → kappaletavara kuljetuksiin (LCL). Kappaletavarakuljetukset nostavat kuitenkin kokonaisrahtikustannuksia verrattaessa FCL - kuljetuksiin. Kuljetusajat ovat yleensä myös hieman pidempiä, koska kappaletavaralähettykset joudutaan purkamaan terminaaleissa ja

lastaamaan ne uudelleen konttiin tai traileriin. Lisäksi ylimääräisillä lastioperaatioilla rahdin vaurioitumisriskit kasvavat.

- Lentorahdin käytöllä kuljetusajat saadaan painettua minimiin, mutta lentorahti on merirahtia huomattavasti kalliimpaa, eikä siksi sovellu suurien tavaramäärien kuljettamiseen. Käytetään yleensä vain kiiretilanteissa tai osan rahdista kuljettamiseen.
- Materiaalien hankinta lähempää nopeuttaa toimituksia, mutta voi nostaa tuotteen valmistuskustannuksia korkeammista hankintakuluista johtuen. Etuina on kuitenkin, että tavaran lisätoimitukset onnistuvat tarvittaessa nopeasti ja että läheltä hankittu materiaali on ympäristöystävällisempää. Tätä voidaan sitten hyödyntää tuotteen markkinoinnissa.
- Suunnittelun lisääntyminen ja aikajakson pidentyminen lisäävät virheitä ennusteisiin ja tämä heikentää kykyä reagoida markkinatilanteiden muutoksiin. Kysynnän yllättävä kasvu voi aiheuttaa tilanteen, että tuotetta ei ole saatavilla hetkeen, jolloin menetetään tuloja ja pahimmillaan menetetään asiakas kilpailijalle.

BDP Internationalin ja St. Josephin Yliopiston tekemässä tutkimuksessa selvitettiin slow steamin vaikutuksia yrityksen toimintaan. Tutkimuksen kohderyhmänä oli 290 eri yrityksen johtoon kuuluvaa henkilöä, jotka päättävät yrityksen kuljetuksista. Yritykset edustivat laaja-alaisesti eri toimialoja mm. kemikaali, jälleenmyynti, kuluttajatuotteet ja terveydenhuolto. Tutkimukseen vastanneista yrityksistä 73 % on mukana tuonnissa ja viennissä. 15 % mukana vain viennissä ja 12 % vain tuonnissa. Maantieteellisesti osallistujat sijoittuivat: 38 % Aasiaan, 34 % Pohjois- tai Etelä Amerikkaan ja 28 % Eurooppaan ja Lähi-itään.

## Slow steaming vaikutukset liiketoimintaan



Kuva 2. BDP Internationalin ja St.Josephsin Yliopiston tekemän tutkimuksen tulokset. (6, 5).

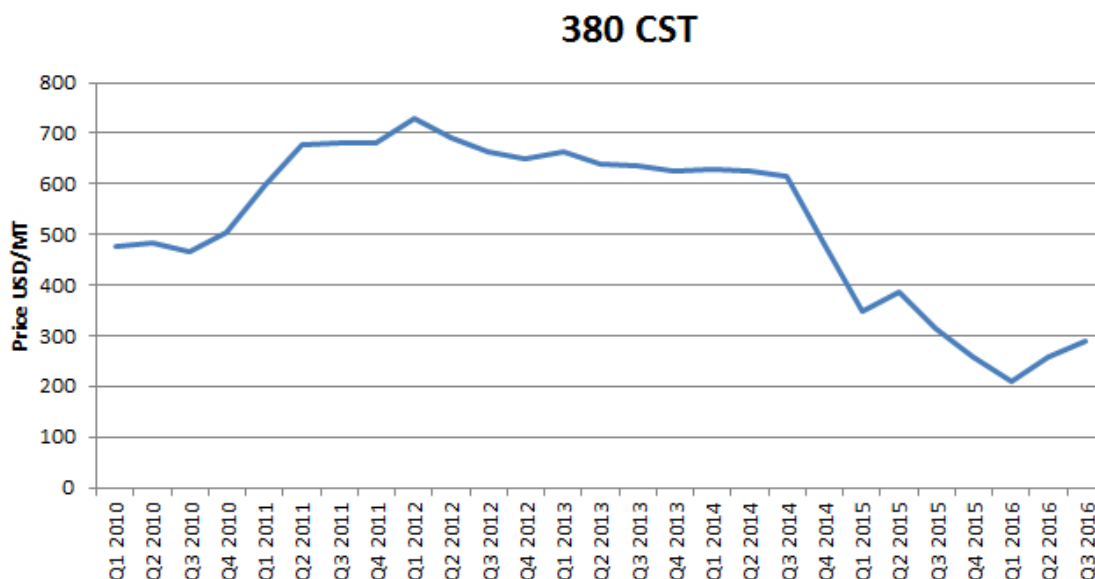
## 4 POLTTOAINEEN KULUTUS JA PÄÄSTÖT

Täydellä nopeudella liikennöivän konttirahtialuksen nopeus on noin 24 - 26 solmua, joka on noin 80 - 90 % moottorin maksimi kapasiteetista.

Slow steaming määritelmät nopeuden mukaan:

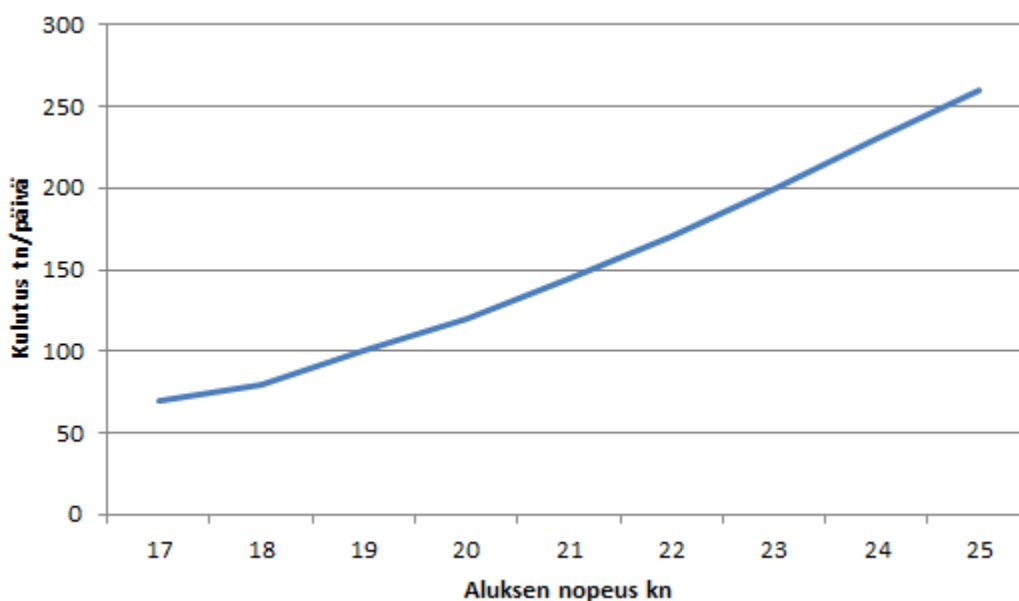
- 21 solmua slow steaming
- 18 solmua extra slow steaming
- 15 solmua super slow steaming

Mitä enemmän aluksen nopeutta lasketaan, sitä enemmän se vähentää aluksen polttoainekulutusta. World Shipping Council arvioi, että polttoainekulut voivat olla noin 50 - 60 % aluksen operointikuluista ja siitä johtuen muutokset polttoainehinnoissa vaikuttavat suuresti varustamon talouteen. Polttoaineen hinnan laskeminen kaikkien aikojen alimmalle tasolle on alentanut varustamoiden polttoainekuluja huomattavasti, jolloin varustamoilla olisi ollut mahdollisuus parantaa heikkoa kannattavuuttaan pitämällä hinnat ennallaan. Varustamot eivät ole pystyneet hyödyntämään tätä ja matalammat polttoainekustannukset ovat menneet laivaajien hyödyksi. (7, 1-7)



Kuva 3. Polttoaineen 380 CST hinnankehitys kvartaaleittain 2010 - 2016. (8).

Alphaliner arvioi, että varustamot säästävät slow steamin ansiosta 5-7 prosenttia operointikustannuksissa, kun polttoaineen hinta on USD 500 / tonni, jolloin vuotuiset säästöt polttoaineessa voivat olla jopa 15 – 20 miljoonaa dollaria per alus Aasia – Eurooppa reitillä (7, 3-5).



Kuva 4. Polttoaineen päiväkulutusta 8000 TEU:n aluksella nopeuden mukaan (9).

Polttoainekulujen vähenemisen ohella slow steaming vähentää samalla myös kasvihuonekaasupäästöjä, mistä suurin osa on hiilidioksia. Laivaliikenteen vuotuinen polttoainekulutus vuonna 2009 oli noin 265 miljoonaa tonnia ja vuotuiset hiilidioksidipäästöt noin 840 miljoonaa tonnia, mikä vastaa kolmea prosenttia maailman hiilidioksidipäästöistä. Vuotuiset typen oksidipäästöt olivat noin 20,9 miljoonaa tonnia, mikä vastaa 15 % maailman (Nox) päästöistä. Rikkioksidipäästöt (Sox) olivat 11,3 miljoonaa tonnia, mikä vastaa 13 %. Konttialusten tuottamat kasvihuonepäästöt olivat noin 270 miljoonaa tonnia, mikä on noin kolmannes koko laivaliikenteestä. International Maritime Organization on arvioinut, että päästöt tulevat kasvamaan kaksin- tai kolminkertaisiksi vuoteen 2050 mennessä, johtuen kansainvälisen kaupan kasvusta (7, 8-9).

Vuonna 1973 IMO otti käyttöönsä kansainvälisen yleissopimuksen alusten saastuttamisen ehkäisemisestä, se tunnetaan yleisesti nimellä MARPOL. Yleissopimusta on täydennetty vuoden 1978 ja 1997 pöytäkirjoilla ja sen jälkeen niitä on päivitetty tarpeen mukaan. Sopimus pitää sisällään ohjeistusta öljystä ja öljyisistä seoksista, irtolastina kuljetettavista vaarallisista nestemäisistä aineista, meriympäristölle vaarallisista pakatuista aineista, aluksista peräisin olevasta kiinteästä jätteestä ja käymäläjätevesistä aiheutuvan merellisen ympäristön pilaantumisen ehkäisemisestä, sekä alusten aiheuttaman ilman pilaantumisen ehkäisemisestä. MARPOL - säännökset ovat vaikuttaneet kansainvälisen merenkulun päästöjen huomattavaan vähenemiseen ja 99 % maailman kauppalaivastosta noudattavat MARPOL - määräyksiä (7, 10-16).

## 5 SLOW STEAMING VAIKUTUKSET ALUSKAPASITEETTIIN JA AIKATAULUIHIN

Slow steamin hyödyntäminen matalan kysynnän aikana, jolloin varustamoilla on aluskapasiteettia yli tarpeen, on taloudellisesti järkevää. Vuosina 2009 ja 2010 varustamoille toimitettiin alukset, jotka oli tilattu ennen maailmantalouden laskusuhdanteen alkua. Toimitetut alukset lähes tuplasivat kokonaisaluskapasiteetin. Tällä hetkellä aluskapasiteetista noin viisi prosenttia on käyttämättä, johtuen laskeneista kuljetusmääristä. Koska slow steaming lisää kuljetusaikoja, antaa se myös varustamoille mahdollisuuden lisätä

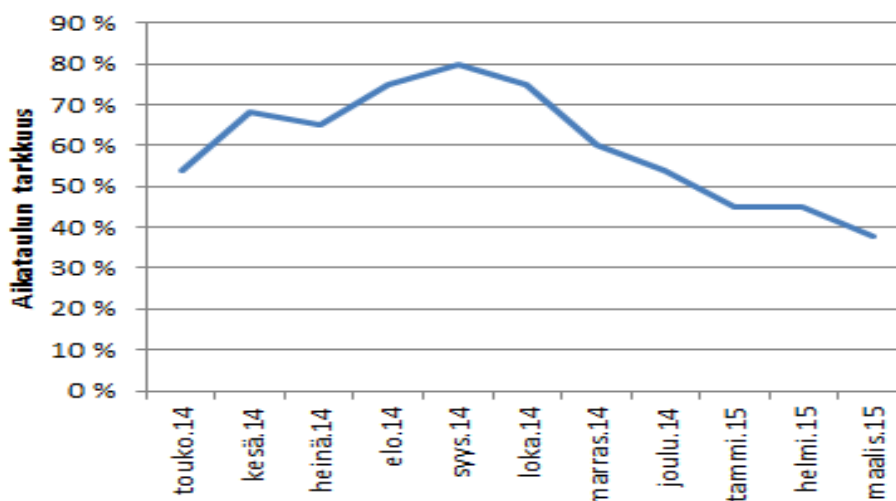
reiteille uutta kalustoa, joilla kyetään säilyttämään edelleen sama palvelutiheys. On arvioitu että super slow steaming lisää kokonaisaluskapasiteettiä tarvetta jopa neljällä prosentilla, jolloin suuri osa käyttämättömänä olevasta aluskannasta saataisiin käyttöön.

Varustamot julkaisevat liikennöimilleen reiteilleen normaalisti aikataulun, josta selviää, milloin mikäkin alus on missäkin satamassa. Aikataulut tehdään huomioimalla erinäisiä muuttujia, kuten matka satamien välillä, arvioidut odotusajat, satamassa eri terminaalien välillä tapahtuvat siirtymiset, purettavien ja lastattavien konttien määrät, lastitoiminnoissa käytettävien nosturien määrät, sekä niiden operointinopeus. Huomioimalla muuttujat, joihin lisätään puskuriaika ennalta arvaamattomien tapahtumien takia, saadaan lopputulokseksi arvioitu matka-aika, jonka pohjalta aikataulu julkaistaan.

Hidastamalla alusten liikennöintinopeutta pidentyy aika, joka alukselta menee yhden edestakaisen matkan tekemiseen. Jotta satamissa käyntitiheys saadaan pidettyä ennallaan, on varustamon lisättävä aluksia kyseiselle reitille. Esimerkiksi Aasia – Eurooppa reitillä liikennöivän aluksen keskinopeuden ollessa 22,4 solmua edestakainen matka-aika on noin 56 vuorokautta. Säilyttääkseen viikoittaiset lähdöt satamista, on tällä reitillä käytettävä kahdeksaa alusta. Kun keskinopeutta lasketaan 20,2 solmuun, matka-aika pitenee 63 päivään. Jotta sama palvelutiheys saadaan pidettyä, on reitille lisättävä yksi alus. Aluksen lisäämisestä reitille aiheutuneista kustannuksista huolimatta slow steamista saadut säästöt poltto- ja voiteluaineissa ovat suuremmat kuin yhden aluksen tuomat lisäkulut (6).

Varustamot markkinoivat aloittaessaan slow steamia sen positiivisella vaikutuksella kuljetusaikatauluissa pysymiseen. Viivästyksiset kuljetuksissa voivat johtua monista eri syistä, kuten ruuhkat tai lakot satamissa, säästä tai teknisistä ongelmista. Mikäli aikatauluissa ei ole riittävästi joustoa, viivästyksen tapahduttua yhdessä pisteessä se voi pahimmillaan kertaantua suureksi kuljetusketjun loppupäässä. Alennetulla liikennöintinopeudella voidaan vaikuttaa aikataulun joustavuuteen. Mikäli viivästyksiä tapahtuu, niin se on mahdollista saada kiinni nostamalla nopeutta. Merikuljetuksissa aikatauluissa pysyminen tuottaa haasteita, sillä ainoastaan 50 - 60 prosenttia kuljetuksista saapuu ajallaan satamaan. Mikäli kuljetusten ajallaan saapumisprosenttia

saadaan parannettua, niin laivaajat voivat vähentää puskurivarastoiden kokoa. Vaikka varustamot vakuuttivat slow steamin parantavan aikatauluissa pysymistä, on käytäntö osoittanut, että tämä väite ei kokonaan pidä paikkaansa. (6. 7. 10, 4-9).



Kuva 5. Varustamoiden aikataulussa pysyminen 5/2014 -3/2015 (11).

## 6 SLOW STEAMINGIN HAASTEET PÄÄMOOTTORILLE

Tyypillisen ison konttirahtialuksen moottori on hidaskäyntinen kaksitahtimoottori kiinteälapaisella potkurilla, joka on yhdistetty moottoriin pitkällä akselilla. Kiinteälapaisesta potkurista johtuen aluksen nopeutta voidaan muuttaa säätämällä moottorin kierrosnopeutta.

Alukset on suunniteltu ja rakennettu alun perin tietylle nopeudelle, jolle päämoottorin koko ja potkuri on optimoitu. Ison kaksitahtimoottorin optimikuorma on noin 80 – 90 % maksimikuormasta ja laivan muut järjestelmät, kuten turboahdin, pakokaasukattila ja muut järjestelmät ovat suunniteltu tälle kuormalle. Kun moottorin kuormaa muutetaan siten, että se on optimialueen ulkopuolella, vaikuttaa se kaikkiin aluksen järjestelmiin.

Koska slow steamingista ei ole aiempaa pitkäaikaisia ja laaja-alaista käyttökokemusta, on slow steam – operointi käyttäjien ja teknisen henkilöstön puolella koettu haasteelliseksi. Seuraavaksi käsitellään ongelmia, joita pienemmällä kuormalla operoitaessa on havaittu olevan.



## Palamisongelmat

- Operoitaessa moottoria sen optimikuorman alapuolella moottorissa tapahtuva ilman virtaus pienenee heikentäen muun muassa turboahdinten toimintaa ja sylinteriin menevä paloilman määrä vähenee, jolloin polttoaineen palaminen heikkenee. Heikentynyt ilman virtaus voi aiheuttaa myös pakokaasun lämpötilan nousemiseen vaarallisen korkeaksi, mikä voi aiheuttaa komponenttien rikkoutumisen.
- Ongelma-alue, kun lähestytään apupuhaltimien käynnistymis- ja sammumisarvoja. Kun turboahdin ei kykene tuottamaan riittävää ilmamäärää moottorille, tarvitaan avuksi sähkömoottorilla toimivaa puhallinta, joka toimittaa puuttuvan määrän ilmaa moottorille, jotta polttoaineen palaminen olisi paras mahdollinen. Apupuhallin kytkeytyy automaattisesti pois päältä, kun turboahdin kykenee tuottamaan riittävän ilmamäärän.
- Polttoaineen heikko palaminen. Palamaton polttoaine saattaa kulkeutua sylinterin reunoille ja sekoittua sylinterin voiteluöljyn kanssa. Nämä kulkeutuvat huuhteluilmanaviin, jonne muodostuneet kertymät voivat aiheuttaa tulipalon. Jäämät voivat syttyä palamaan, esimerkiksi hitaasta polttoaineen syttymisestä, jälkipalamisesta tai rikkoutuneista männänrenkaista aiheutuvasta ohipalamisesta johtuen.
- Polttoaineen heikko sumutus. Oikea pisarakoko parantaa polttoaineen sekoittumista ilmaan, jolloin palaminen on tehokkainta. Liian suuri pisarakoko voi aiheuttaa sylinterin seinämien kulumista. Liian pienessä pisarassa ei ole riittävästi massaa, mikä estää polttoainepisaroiden tehokkaan sekoittumisen ilman kanssa.
- Ilma- ja polttoaine seoksen muuttuminen, sekä polttoainesuutinten vuotaminen. Moottorit, joissa polttoainepumppua ohjataan nokka-akselilla ovat herkempiä moottorin nopeuden muutoksille. Mikäli moottorin nopeus laskee, niin polttoainepumppu toimittaa polttoaineen ruiskulle hitaammin.

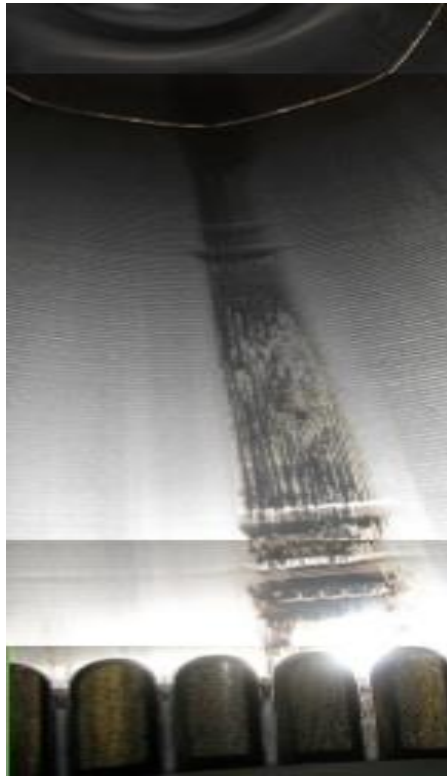
- Lisääntynyt likaantuminen ja hiilijäämät. Epätäydellinen polttoaineen palaminen aiheuttaa turboahtimen suuttimien ja turbiinilapojen likaantumista, sekä sylinteriöljyjäämät voivat aiheuttaa palon pakosarjassa. (12, 4-7. 13. 14).



Kuva 6: Likaantunut polttoaineventtiili (15).

### Kylmäkorroosio

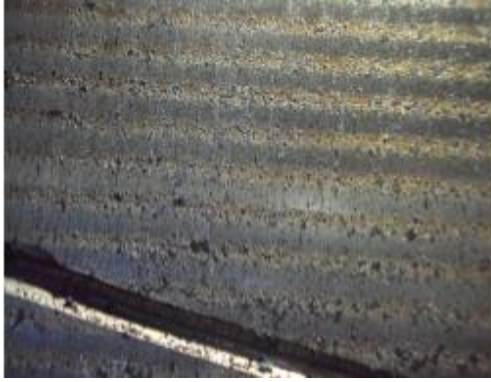
- Moottorin matala käyntilämpötila ja korkea paine aiheuttavat sen, että lämpötila putoaa pakokaasujen kastepisteen alapuolelle aiheuttaen rikkihapon muodostumista sylinterin seinämille, mikä taas aiheuttaa kylmäkorroosiovaurioita. Kylmäkorroosio lisää männänrenkaiden kulumista, aiheuttaa uurteita ja kuoppia sylinterin seinämiin vähentäen osien käyttöikää jopa 90 %. Kylmäkorroosiota esiintyy joissain moottoreissa myös huuhteluilmakanavien alueella.
- Matala HT veden lämpötila. Mikäli veden lämpötila on liian alhainen, voi se aiheuttaa termisen shokin, joka voi johtaa moottorin komponenttien vikaantumiseen. Lisäksi matala lämpötila aiheuttaa kylmäkorroosiota.
- Matala ahtoilman lämpötila. Liian matala ahtoilman lämpötila voi osaltaan johtaa siihen, että lämpötila laskee sylinterissä tasolle, jolla kylmäkorroosiota esiintyy.



Kuva 7: Sylinteriputkeen muodostunut jäämiä johtuen matalasta käyntilämpötilasta (15. 16).

#### Moottorin likaantuminen

- Turboahtimen pakopuolen ja pakokaasukattilan likaantuminen. Polttoaineen epätäydellisessä palamisessa polttoaine ei pala kokonaisuudessaan, vaan moottoriin alkaa kertyä jäämiä, jotka heikentävän moottorin tehoa, nopeuttavat osien kulumista sekä pahimmillaan aiheuttavat tulipalon.
- Tuuletusilmatilan likaantuminen johtuen liiallisesta sylinteriöljystä. Jos sylinteriin syötetään liikaa voiteluöljyä alkaa se kerääntymään tuuletusilma venttiileihin ja yhdessä palamattoman polttoaineen kanssa aiheuttavat tulipalovaaran.
- Männän ja männänrenkaiden likaantuminen ja kuluminen. Liiallinen sylinteriöljy aiheuttaa männän renkaiden jumiutumista, jolloin moottori teho laskee ja männän renkaiden käyttöikä vähenee huomattavasti.



Kuva 8: Liiallisesta voitelusta johtuen ylimääräinen öljy palanut koviksi kiteiksi, mikä aiheuttaa sylinterin ja männänrenkaiden kulumista (15).



Kuva 9: Ylijäämä öljy aiheuttanut männänrenkaiden likaantumista ja lisää huuhteluilmatilan tulipalon mahdollisuutta (15).

## 6.1 Nokka-akselimoottori

Ongelma perinteisessä nokka-akselilla ohjatussa järjestelmässä on yhteys polttoaineen syöttöpaineessa ja moottorin pyörimisnopeudessa. Koska slow steam -käytössä moottorin pyörimisnopeutta alennetaan, vaikuttaa se polttoaineen syöttöpaineen merkittävään alenemiseen. Tämä johtaa siihen, että ilman ja polttoaineen seossuhde muuttuu, sekä polttoaineen sumutus sylinteriin heikkenee, jolloin palamisreaktiosta tulee epätäydellinen.

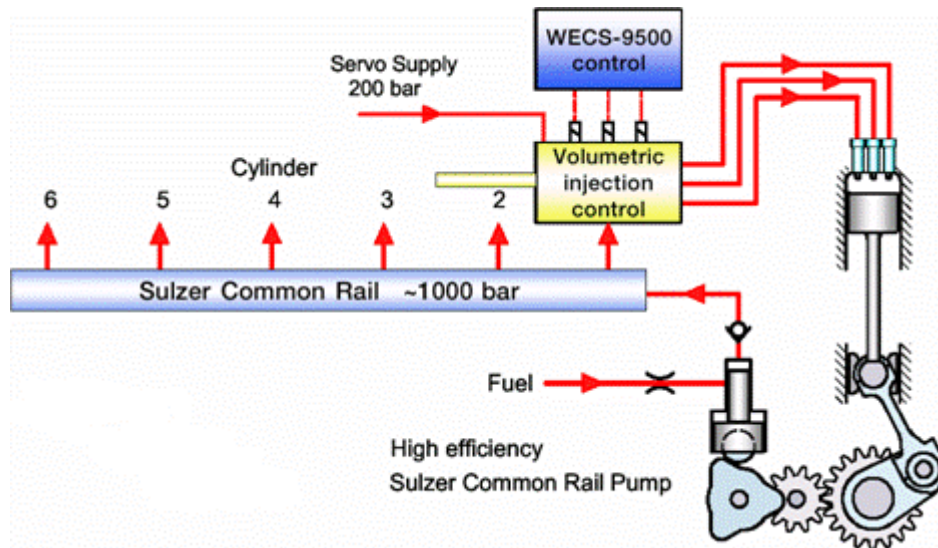
Nokka-akselilla toimivia moottoreita käytetään slow steam – operoinnissa kolmella eri tavalla:

- Apukattila ja apupuhallin on pois kytketty. Höyry kyetään tuottamaan pelkästään käyttämällä pakokaasukattilaa. Pääkoneen turboahdin pystyy tuottamaan riittävän ahtopaineen ilman apupuhallinta.
- Apukattilaa käytetään ajoittain ja apupuhallin ei ole käytössä. Höyryä ei kyetä tuottamaan kokonaan pakokaasukattilalla.
- Apukattila on päällä usein ja apupuhallin käytössä. Pakokaasun lämpötila on pudonnut ja höyryn tuottamiseen tarvitaan avuksi useammin apukattilaa. Pääkoneen turboahdin ei kykene tuottamaan riittävästi ahtopainetta ja avuksi tarvitaan apupuhallinta (17).

## 6.2 Common rail –moottori

Common rail – teknologia tarjoaa mahdollisuuden laaja-alaisempaan polttoaineensyötön säätöön. Tällä tekniikalla moottorin sytytyksen ajoitusta, ruiskutuksen painetta ja polttoaineen ruiskutuksen määrää voidaan säätää halutunlaiseksi huolimatta moottorin pyörimisnopeudesta.

Common rail – järjestelmässä polttoaine syötetään painesäiliökiskoon sähköisesti ohjatun korkeapainepumpun avulla, jossa se varastoi polttoainetta ruiskutukseen kaikkia sylintereitä varten. Syötettävän polttoaineen määrää voidaan säätää sylinterikohtaisesti. Tuloksena on parempi polttoaineen palaminen, matalammat päästöt ja parempi polttoainetalous erityisesti matalilla kuormilla ajettaessa (18).

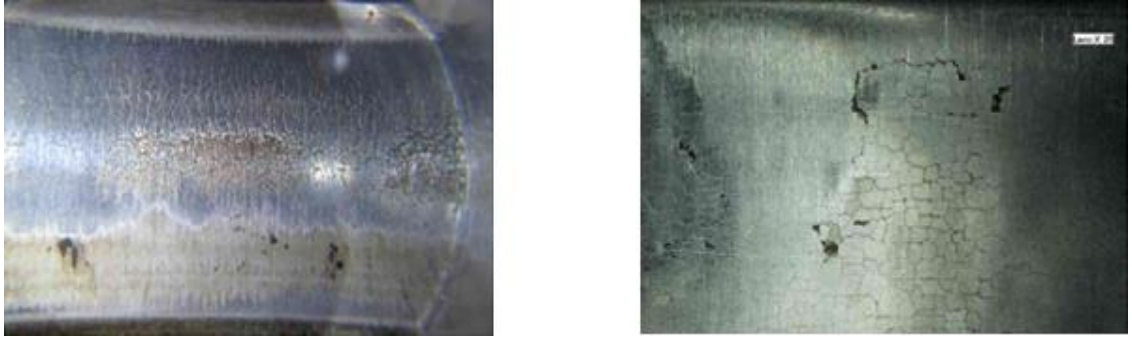


Kuva 10. Common rail – järjestelmän toimintakaavio (18).

### 6.3 Moottorin käyttösuositukset slow steam - operoinnissa

- Polttoaineventtiilien toimintaan ja huoltoväliin tulisi kiinnittää erityishuomiota.
- Polttoaineen viskositeetti tulisi pitää suositellulla noin 12 – 17 cSt alapäässä huomioiden moottorin valmistajan suositukset kuitenkin ylittämättä 155 asteen lämpötilaa imupuolella.
- LT jäähdytysvesi tulisi pitää 36 asteen lämpötilassa, jotta tuuletusilma saadaan pidettyä optimilämpötilassa ja kannen jäähdytysvesi yläarvossa 85 - 95°C.
- Turboahtimet tulisi puhdistaa valmistajan suositusten mukaan.
- Sylinteriöljyn syötön säätäminen oikeaksi kuorman mukaan. Männän tarkastukset ovat suositeltuja, jotta saadaan selville männän ja renkaiden kunto, sekä viitteitä mahdollisesta ylikvoitelusta.
- Pakokaasun lämpötilan sylinterin jälkeen tulisi pitää yli 250 C:ssa, jotta kylmäkorroosiota sekä turboahtimen likaantumista voidaan välttää. Mikäli lämpötila laskee tämän alle, moottorin nopeutta tulisi lisätä.

- Mikäli pakokaasun lämpötila nousee liian korkeaksi (yli 450°C sylinterin jälkeen), apupuhaltimet tulisi laittaa asentoon "jatkuva käyttö". Tulee kuitenkin huomioida, etteivät kaikki apupuhaltimet ja virrankatkaisijat ole sopivia käytettäväksi jatkuvalla käytöllä.
- Apupuhaltimien jatkuvaa päälle-pois- kytkemistä tulee välttää. Mikäli on tarpeellista, apupuhaltimien käyttö tulee säätää asentoon "manuaali käyttö" tai operointia lähellä käynnistymis- ja sammumisalueita tulee välttää.
- Puhaltimien laakereiden tarkastukset ja voitelut pitää tehdä useammin jos se on tarpeellista lisääntyneen käytön johdosta.
- Slow steam – operoinnin aikana pakopuolelle mahdollisesti kerääntynyt polttoaine ja voiteluöljyn syttyminen kuorman nostamisen jälkeen tulee myös huomioida. Tästä voi aiheutua vakavia vaurioita turboahtimeen äkkinäisestä nopeuden lisäyksestä johtuen. Moottorin kuormaa tulisi lisätä noin kahdesti viikossa hetkellisesti mahdollisimman suureksi, vähintään 70 % tunnin ajan, jotta kerääntyneet jäät palavat pois. Kuorman nostaminen tulee suorittaa varovaisesti noin 2 tunnin aikana, jotta kerääntyneet jäät eivät vaurioittaisivat mäntää ja aiheuttaisivat paloa pakopuolella.
- Myös muut komponentit, kuten pakokaasuventtiilit, turboahtimet ja jne. tarvitsevat enemmän tarkastuksia, huoltoa ja puhdistamista.
- Pakokaasukattilalle tulee tehdä useammin noen poispuhalluksia (19).

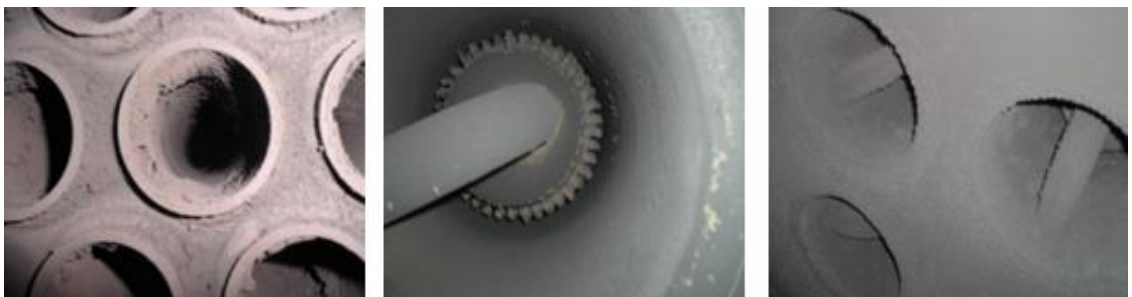


Kuva 11: Slow steam operoinnista johtuvia halkeamia ja kulumia männän renkaissa (20).

## 7 KATTILAN LIKAANTUMINEN

Polttoaineen epätäydellisestä palamisesta sekä pakokaasujen hitaammasta nopeudesta johtuen pakokaasujen mukana kulkeutuu enemmän partikkeleita, jotka likaavat pakokaasukattilan savuputkia ja heikentävät höyryntuottoa. Matalalla päämoottorin kuormalla ajettaessa pakokaasukattilan toiminta tulee riittämättömäksi. Jotta riittävä höyryntuotto saadaan ylläpidettyä ajettaessa matalalla kuormalla, apukattila käynnistyy kuorman ollessa normaalisti noin 30 - 40 % MCR kun pakokaasukattila on puhdas. Apukattilan käynnistymisrajan alentamista 1-3 bar voi harkita matalilla kuormilla ajettaessa.

Likaantunut pakokaasukattila heikentää höyryntuottokykyä, jolloin apukattila saattaa käynnistyä kun päämoottorin kuorma on yli 40 % MCR. Likaantuneen apukattilan pitkittynyt käyttö merimatkan aikana nostaa polttoaineen kulutusta ja nokipalojen mahdollisuus kasvaa huomattavasti. Säännöllinen moottorin kuorman nostaminen sekä kattilaveden puhtaana pitäminen on tehokkain tapa pitää kattila puhtaana.



Kuva 12: Likaantuneita kattilan savuputkia (15).



## 7.1 Kattilan puhdistaminen

Kattilapuhallukset poistavat jäämät kattilan pinnoilta, mutta raskaampien kertymien vedellä peseminen on tarpeellista. Valmistajan ohjeet, kokemus ja tarkastukset määrittävät pesutiheyden, mutta keskimäärin vesipesu tulee suorittaa noin 500 käyttötunnin välein tai kerran kuukaudessa.

Puhdistuksen toiminta-ohjeet:

- Kattila tulee pysäyttää vähintään 12 - 16 tuntia ennen puhdistusta, jotta kattila jäähtyy riittävästi.
- Ennen pesun aloittamista tulee tarkastaa, että kaikki pesuvesien valuma-aukot ovat auki, jotta veden joutuminen turboahtimeen vältetään.
- Kattila huuhdellaan vedellä. Esipesu voidaan suorittaa myös suolaisella vedellä, mutta makealla vedellä peseminen on suositeltavaa. Happamien jäämien tehokkaampi poisto saadaan aikaiseksi lisäämällä lievästi neutralisoivaa pesuainetta pesuveteen.
- Loppuhuuhtelu tulee suorittaa makealla vedellä, mikäli suolaista vettä on käytetty, jotta suolavesi ja pesuaineen jäämät saadaan poistettua.
- Neutralisoivia aineista huolimatta vauriot pesuveden tyhjennysjärjestelmässä ovat yleisiä.
- Pesun jälkeen tulee tehdä tarkastus, jossa varmistetaan pakokaasukattilan puhtaus. Nokipalojen mahdollisuus kasvaa mikäli märkiä nokijäämiä on jäänyt pinnoille (15, 10-15. 21).

## 7.2 Noen kerääminen aluksella

Valtaosa aluksista on varustettu tankilla, johon kattilasta pesemisestä tuleva noki ja vesi johdetaan. Noki säilötään tankkiin ja vesi ohjataan pilssivesi järjestelmään, jossa se käsitellään öljy-vesi separaattorilla. Tankkiin kertynyt noki tyhjennetään maihin hävitettäväksi (21).

Marine Environment Protection Committee (MEPC) vuonna 2013 tekemiä lisäyksiä pakokaasukattilan pesusta aiheutuvaan pesuveden ja kiinteän noen käsittelyyn:

Pakokaasukattilan pesun yhteydessä syntynyt noen sekainen vesi tulisi määrittää "operational wastes" ja siksi sen hävittäminen suoraan mereen on kiellettyä. Pesuvesi saattaa sisältää huomattavia määriä öljyisiä jäämiä ja näin aiheuttaa meren saastumista ja jättää öljylauttoja merenpintaan.

Aluksilla joilla on noen keräysjärjestelmät, tulisi kerätä kaikki pakokaasukattilan pesun yhteydessä syntynyt pesuvesi ja noki. Kiinteä noki tulee hävittää satamassa jätteenkäsittelyyn. Pesuvesi voidaan käsitellä aluksen pilssivesi järjestelmässä, mikäli öljy-vesi separaattori ja öljypitoisuusmittari ovat tähän tarkoitukseen soveltuvia, muutoin pesuvesi tulee hävittää noen kanssa sataman jätteenkäsittelyyn. Aluksilla joilla ei ole mahdollisuutta käsitellä pesuvettä, tulee olla riittävät noen keräyslaitteet myöhempää käsittelyä tai hävittämistä varten (22).

### 7.3 Nokipalot kattilassa

Haverit ja erityisesti tulipalot kattiloiden käytössä ovat lisääntyneet. Syitä, jotka aiheuttavat kattilapaloja on useita, kuten polttoaineen laatu, lisääntynyt apukattilan käyttö, usein tapahtuva moottorin käynnistäminen ja pysäyttäminen, alhainen pakokaasun virtausnopeus kattilassa, riittämätön veden virtaus putkissa. Yhdessä nämä tekijät vaikuttavat noen kerääntymiseen kattilassa ja lisäävät tulipalon riskiä, jolloin kipinä voi sytyttää kattilassa olevan noen (21).

### 7.4 Noen aiheuttamat ongelmat kattilan pakopuolella

Pakokaasukattila on suunniteltu kooltaan kompaktiksi, jossa on ahtaat kanavat. Kanava päämoottorilta pakokaasukattilalle on usein suunniteltu niin, ettei pakokaasu pääse virtaamaan kattilan läpi täysin esteettä. Pakokaasun heikko virtaus sekä slow steaming yhdessä lisäävät noen kerääntymistä kattilaan. Syttymättömät jäämät päämoottorilla polttoaineen paloprosessissa johtuen eri polttoainelaaduista ja moottorin kuorman muutoksista aiheuttavat palavien jäämien muodostumista kattilaan. Pakokaasu sisältää happea noin 14 % ja nokijäämien syttyminen voi aiheuttaa vakavia tuhoja jos riittäviin

toimenpiteisiin ei ryhdytä ajallaan. Pitkäiskuisissa moottoreissa suurempi voiteluöljyn tarve, matalampi pakokaasun lämpötila ja suuret pakokaasukattilat yhdessä heikkolaatuisen öljyn kanssa lisäävät nokipalon riskiä ja pahimmassa tapauksessa aiheuttavat apukattilan tai pakokaasukattilan täydellisen tuhoutumisen.

Alukselle asennettuja noenpuhalluslaitteita on käytettävä valmistajan ohjeiden mukaisesti. On kuitenkin pidettävä mielessä, ettei laitteisto välttämättä huomioi aluskohtaisia suunnittelueroja pakokanavien suhteen. Tästä johtuen pakopuolen kunto on tarkistettava säännöllisesti ja varmistuttava että noki on poistettu huolellisesti ja mikäli näin ei ole, on tiheämpi kattilan noen puhallus ja vedellä peseminen suoritettava. Aluksen operoidessa alennetulla kuormalla kuorman lisäystä noen puhalluksen aikana suositellaan (21).

## 7.5 Kattilaveden käsittely

Slow steamingin lisääntyessä tarkastuksia, vesipesuja, puhalluksia sekä syöttöveden käsittelyä tulee suorittaa tiiviimmin. Epäpuhtaudet syöttövedessä aiheuttavat kattilakiveä, korroosiota ja vaahtoamista. Oikeanlainen kattilaveden käsittely on tärkeä osa kattilan huolto-ohjelmaa ja se ehkäisee pistekorroosiota ja syöpymistä putkissa.

Jotta ongelmien muodostumista voidaan vähentää sekä kontrolloida syöttövedessä olevia jäämiä, puhallukset on tarpeen suorittaa säännöllisesti. Kattilavesi voidaan myös vaihtaa osittain tai joissain tapauksissa vesi vaihdetaan kokonaan. Pintapuhallukset suoritetaan jatkuvasti, jotta voidaan vähentää veteen liuenneita jäämiä. Pohjapuhallukset suoritetaan määrääjoin, jotta liete kattilan pohjasta voidaan poistaa. Jatkuva kattilaveden testaaminen ja oikea kemikaalien käyttö on tärkeää, jolloin ongelmiin voidaan puuttua ajallaan ja taataan laitteistolle mahdollisimman häiriötön toiminta.

Normaalisti syöttövesi tuotetaan aluksen omalla makeanveden tuottamislaitteistolla. Niissä tapauksissa kun aluksen omalla järjestelmällä ei kyetä tuottamaan riittävästi vettä, voidaan joutua tilanteeseen, jossa vettä otetaan maista ja sen laatu on heikompaa verrattuna aluksella tuotettuun

veteen. Maista otetulle vedelle suoritettavat vesitestit, kemikaalien annostelu sekä puhallukset ovat erittäin tärkeitä. Tärkeitä parametreja syöttö- ja kattilavesitesteissä ovat pH, kloridi, veden kovuus, öljy, rauta, hiilidioksidi konsentraatio, silikaatit ja liuenneet jäämät (23).

## 7.6 Kattilakiven aiheuttamat ongelmat

Suurin ongelma jonka kattilakivi aiheuttaa on ylikuumeneminen, joka aiheuttaa kattilan putkien vikaantumista. Kattilakivi muodostaa eristävän kerroksen putkien sisäpinnalle joka estää tehokkaan lämmönsiirtymisen veteen. Heikompi lämmönjohtokyky laskee kattilan tehokkuutta ja aiheuttaa ylikuumenemistä, joka voi johtaa putkien pehmenemiseen, pullistumiseen tai jopa murtumiseen. Kattilakivi voi tukkia osittain tai kokonaan putkia. Tämä rajoittaa veden kiertämistä putkissa ja aiheuttaa kattilan ylikuumenemistä. Putkien tarkoituksellinen tukkiminen voi myös tulla joissain tapauksissa kysymykseen. Tämä on tarkoitettu kuitenkin vain väliaikaiseksi ratkaisuksi. Mikäli useampi putki tukkeutuu, on otettava yhteyttä valmistajaan ja toimittava heidän ohjeistuksen mukaan (23).



Kuva 13: Ylikuumenemisvaurioita kattilassa (23).

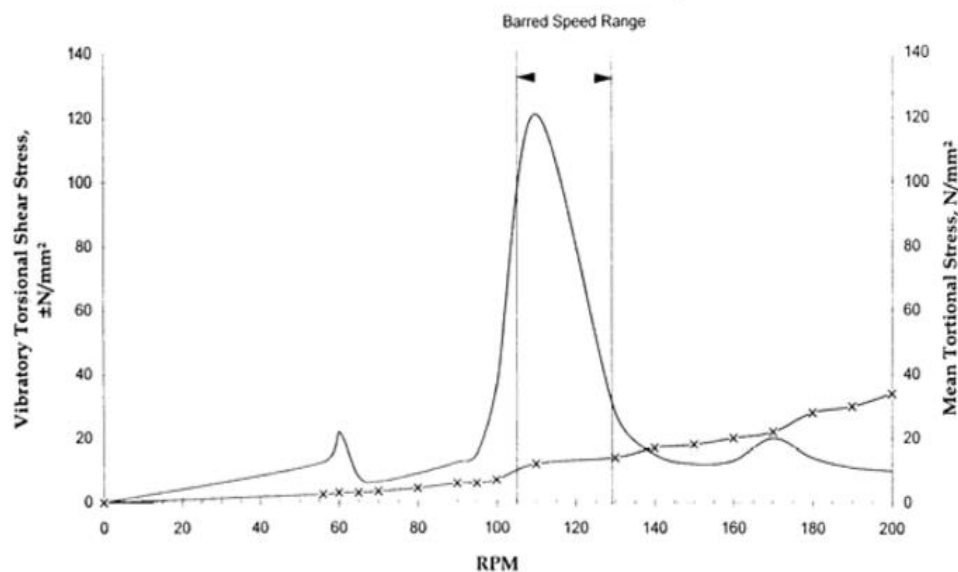
## 7.7 Käyttösuositukset

Pakokaasukattilan pitäminen puhtaana karstasta takaa tehokkaan ja turvallisen käytön. Jotta kattila saadaan pidettyä puhtaana on suositeltavaa, että puhallus ja kiinteät pesulaitteet ovat käytössä, niitä testataan ja, että miehistö hallitsee niiden oikeanlaisen käytön ja huollon. Jatkuvasta tarkastamisesta, vesipesusta, puhalluksista ja kattila-veden oikeanlainen käsittelystä on huolehdittava tarkasti kokoajan. Tarkat puhdistus-kriteerit tulisi määrittää, kaikki poikkeamat tapahtumat kattilan käytössä tuli kirjata ja hälytys- ja valvontalaitteisto tulisi tarkistaa säännöllisesti, jotta varmistutaan että kaikki laitteet toimivat suunnitellusti (23).

## 8 ALUKSEN RUNGON VÄRÄHTELYT

Mikäli moottoria ajetaan pidemmän aikaa normaalia alemmalla teholla, käyttäjien tulee olla tietoisia haitallisista värinöistä ja väännöistä joita moottori, akseli ja potkuri tuottavat. Luokitettaessa pääkonetta moottorin tuottamat värähtelyt tutkitaan jotta saadaan selville mahdolliset haitalliset värähtelytasot. Tärkeimpänä tarkastelun kohteena suurissa järjestelmissä on värähtelyn suuri määrä yhdistettynä värähtelytaajuuteen, joka aiheuttaa vikaantumista kampiakselissa tai akseliliitännöissä. Jos tarkastuksessa ilmenee haitallisia tehoalueita, joilla esiintyy voimakasta värinää, tulee näitä tehoalueita välttää.

### Vibratory Stress of Intermediate Shaft



Kuva 14: Vältettävät kierrosalueet, joilla korkeita värähtelyitä esiintyy (24, 44).

Moottorin jatkuva operointi suunnitellun optimialueen tehoalueen ulkopuolella vaatii tarkan analyysin, jotta voidaan varmistaa moottorin luotettava toiminta ja ettei matalammalla teholla ajettaessa aiheuteta turvallisuus- tai luotettavuusongelmia alukselle. Siksi onkin suositeltavaa, että käyttäjät ja omistajat toimivat yhteistyössä moottorin suunnittelijoiden ja valmistajien kanssa ja toimivat heidän ohjeistuksensa mukaan käytettäessä moottoria sen suositellun tehoalueen ulkopuolella.

Luotettavan toiminnan varmistaminen alennetulla moottoriteholla vaatii tarkempaa silmälläpitoa moottorin toiminnasta ja käyttöparametreista, polttoaineen laadusta, voiteluöljyn kulutuksesta. Teho ja nopeus olosuhteet ovat myös huomioitava. Lisäksi on suositeltavaa käyttää lisälaitteistoa, jolla voidaan mitata moottorin toimintaa alemmilla tehoilla ajettaessa, jotta voidaan varmistaa moottorin toimivan parhaalla mahdollisella hyötysuhteella. Esimerkiksi MAN ja Wärtsilä ovat kehittäneet automatisoidun sylinteriöljyn syöttöjärjestelmän, joka on suunniteltu slow steam operointiin (24).

## 9 RUNGON JA POTKURIN LIKAANTUMINEN

### 9.1 Rungon likaantuminen

Aluksen rungon karheus ja pintarakenne ovat jatkuvasti muuttuva tekijä, jolla on merkittävä vaikutus aluksen suorituskykyyn ja polttoainetalouteen. Rungossa olevat vauriot ja siihen kiinnittynyt kasvusto heikentävät aluksen suoritusarvoja. Rungon karheus voidaan jakaa kahteen pääluokkaan: pysyviin ja väliaikaisiin. Pysyvään rungon karheusluokkaan voidaan mukaan lukea esimerkiksi teräslevyjen epätasaisuus ja hitsausseamat. Suurimman aluksen rungon kulkuvastuksen aiheuttaja on teräslevyjen pintojen epätasaisuus. Tähän sisältyy useampi epätasaisuuden aiheuttaja, kuten korroosio, mekaaninen rungon vika tai lika, jota ei ole poistettu kokonaan ennen uuden pinnoitteen laittamista. Väliaikaisia pinnankarkeuksia voidaan korjata helpommin telakoinnin aikana. Tällaisia karkeuksia ovat: pinnoitteen hilseily, joka on aiheutunut sisäisistä rasituksista, pinnoitteen pettämisestä johtuva paikallinen korroosio tai merieliöistä johtuva rungon likaantuminen.



Kuva 15: Kasvuston likaama aluksen runko (25).

Rungon vedenpinnan alaisten osien likaantumiseen vaikuttaa monta tekijää, kuten aluksen tyyppi, nopeus, liikennöintialue, telakointi intervallit, sekä rungon ja pinnoitteen karheus. Pinnoitemateriaalit ovat kehittyneet perinteisistä pinnoitteista itsekiillottuviin pinnoitemateriaaleihin, jotka vähentävät huomattavasti rungon likaantumista ja pienentävät polttoaineen

kulutusta. IMO:n säädökset koskien myrkyllistä TBT:tä sisältävien pinnoitteiden kieltämisestä on johtanut uusien meriympäristöön paremmin soveltuvien pinnoitteiden kehittämiseen. Nykyään alukset maalataan antifouling maaleilla, jossa maaleista vapautuu bioaktiivisia yhdisteitä. Tällaisina yhdisteinä käytetään kuparioksidia ja orgaanisia biosideja, jotka ovat vesiliukoisia ja vapautuessaan estävät aluksen pohjaeliöstön kasvua. Aluksen pinnoitusmateriaalia valittaessa tulee ottaa myös huomioon mahdollisimman laajasti aluksen toimintaympäristö (24, 45. 26).

## 9.2 Potkurin likaantuminen

Aluksen rungon lisäksi myös potkuri altistuu likaantumiselle aiheuttaen potkurin tehohäviötä, joka laskee aluksen nopeutta ja kasvattaa polttoaineen kulutusta mikäli liikennöinti nopeus halutaan säilyttää ennallaan. Potkurin pinnan likaantuminen on samantyyppistä kuin rungon likaantuminen, jossa merieliöstö ja kasvusto kiinnittyvät rungon pintaan aiheuttaen kulkuvastuksen kasvua. Potkurin hitaampi pyörimisnopeus slow steam operoinnissa nopeuttaa eliöiden ja kasvuston kiinnittymistä potkurin pintaan. Liikennöinti nopeuden lisäksi likaantumiseen vaikuttaa aluksen liikennöintialueen vedessä olevien saasteiden ja merieliöiden määrä. Hyvissä olosuhteissa potkuri ei välttämättä likaannu pitkäänkäytön aikana ja potkurin pinnan karheudessa ei tapahdu muutoksia verrattaessa sitä alkuperäiseen pinnan karheuteen. Joissakin tapauksissa potkurin pinta voi hioutua sileämmäksi käytön aikana liikennöinti nopeudesta ja -alueesta riippuen. Normaalisti potkuri kuitenkin likaantuu jonkin verran käytön aikana. Likaantumista on biologista tai kemiallista.

Kasvusto, jota esiintyy potkurissa, on samantyyppistä kuin rungossa, mutta pidemmät kappaleet kuluvat tavallisesti pois erityisesti potkurin ulkoreunoilta. Osassa potkuria kasvuston mitta saattaa olla 10 - 20 mm, sekä erilaisia eliöitä saattaa esiintyä kun telakointien välillä on kulunut pitkä aika.

Kavitaatio on normaalisti rajautunut tietyille alueille potkuria. Kavitaatiota voi esiintyä melko vähäisenä, sekä hitaasti etenevänä aina nopeasti etenevään kavitaatioon joka voi vahingoittaa potkuria jo muutamassa päivässä.



Kavitaatio vahingot esiintyvät epäsäännöllisinä pinnanmuotoina, jotka vaikuttavat potkurin ominaisuuksiin. Potkurin kulumista aiheuttaa myös veden virtaus ja siinä olevat hiovat partikkelit. Kulumista tapahtuu eniten potkurin etureunassa ja erityisesti lapojen kärjessä jossa veden virtausnopeus on suurin. Vaikutukset eroavat potkurin lapojen välillä laajuutensa sekä erilaisten pinnanmuotojensa muutoksina, mutta vaikuttavat potkurin suorituskykyyn heikentävästi.

Potkurin suorituskykyyn heikentävästi vaikuttaa myös riittämätön huolto tai huollossa tehdyt virheet, esimerkiksi hionnassa sekä potkurin vaurioituminen pohjakosketuksen johdosta (24, 46).



Kuva 16: Kasvuston likaamat potkurit (27).



Kuva 17: Kavitaation aiheuttamaa kulumista potkureissa (28).

## 10 SLOW STEAM KIT

Moottorinvalmistajat tarjoavat slow steam ratkaisuja vanhoihin moottoreihin, jotta moottori saadaan toimimaan mahdollisimman tehokkaasti ja taloudellisesti ajettaessa alemmilla kuormilla. Moottoreihin, joihin ei ole tehty muutoksia slow steam operointia varten, on kasvanut riski moottorin likaantumisesta ja komponenttien ylikuumentumisesta. Muutoksilla moottoria voidaan operoida turvallisesti jatkuvasti jopa 10 % maksimi tehosta. Muutokset eivät ole pysyviä vaan mahdollistavat myös maksimi tehojen käytön milloin vain.

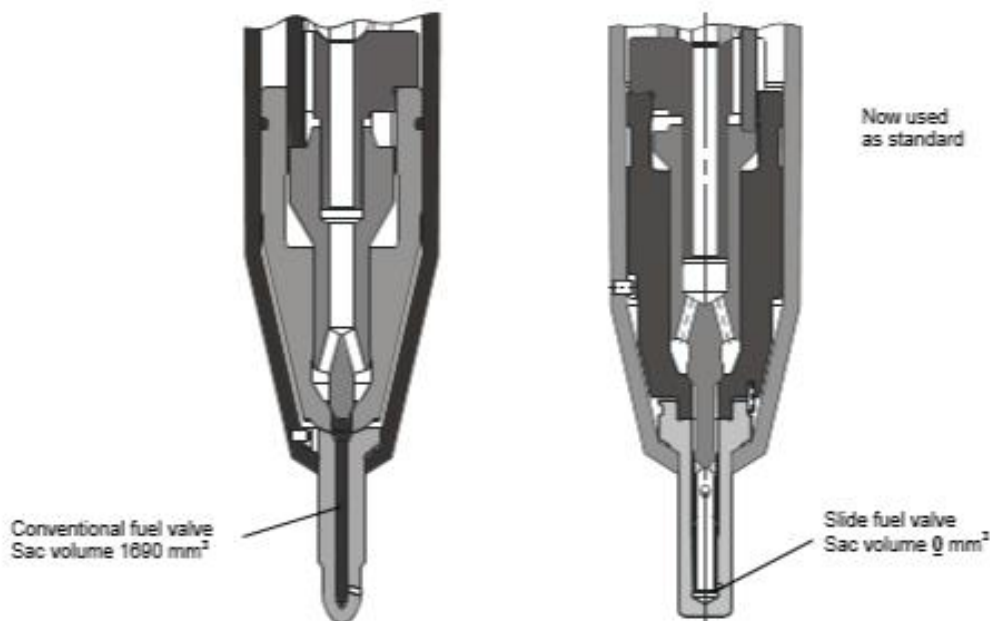
### 10.1 Turboahtimen sulkeminen

Moottorit, jotka on varustettu useammalla turboahtimella, ratkaisuna on yhden turboahtimen ottaminen pois käytöstä. Yhden turboahtimen poiskytkeminen lisää ilman määrää jäljellä oleville ahtimille ja niin saadaan tehokkaampi ilmanvirtaus muille ahtimille. Näin saavutetaan oikea ahtopaine sylinteriin, sekä oikea moottorin käyntilämpötila. Ahtimen pois kytkeminen tapahtuu automaattisesti ja mikäli moottoria tarvitsee ajaa taas suuremmilla kuormilla,

ahdin voidaan kytkeä uudelleen päälle. Esimerkiksi Wärtsilän RT- Flex 96 moottori, kolmella turboahtimella, saavuttaa taloudellisen toiminta alueen myös 10 – 60 % kuormilla, kun yhtä ahdinta ei käytetä. Päivitettäessä turboahdinta slow steam operointiin sopivaksi määritetään yhden ahtimen poiskytketyminen alitettaessa tietty kuorma. Päivityksessä asennetaan sulkuventtiilit pakokanavaan ennen ahtimen turbiinia ja huuhteluilma kanavaan kompressorin jälkeen. Järjestelmä toimii kauko-ohjatusti ja venttiilien toiminta tapahtuu automaattisesti (12, 26).

## 10.2 Slide- polttoaineventtiili

MAN on kehittänyt slide- tyyppisen polttoaineventtiilin, jolla polttoaineen ruiskutus palotilaan saadaan tarkemmaksi verrattuna perinteiseen polttoaineventtiiliin myös slow steam - operoinnissa. Pienentyneen polttoainekulutuksen lisäksi muita etuja ovat vähentyneet pakokaasukattilan ja pakokanavien likaantuminen, vähentynyt männän päällisen likaantuminen, näkyvä pakokaasun muodostus ja NOx päästöjen väheneminen.



Kuva 18: Vasemmalla perinteinen polttoaineventtiili verrattuna oikealla olevaan slide- venttiiliin (30).

Perinteisessä polttoaineventtiilissä venttiilin rakenteen takia pieni määrä polttoainetta pääsee tihkumaan palotilaan huuhteluvaiheen aikana, jolloin lämpötila on liian matala optimaaliselle palamiselle. Tämä aiheuttaa moottorin

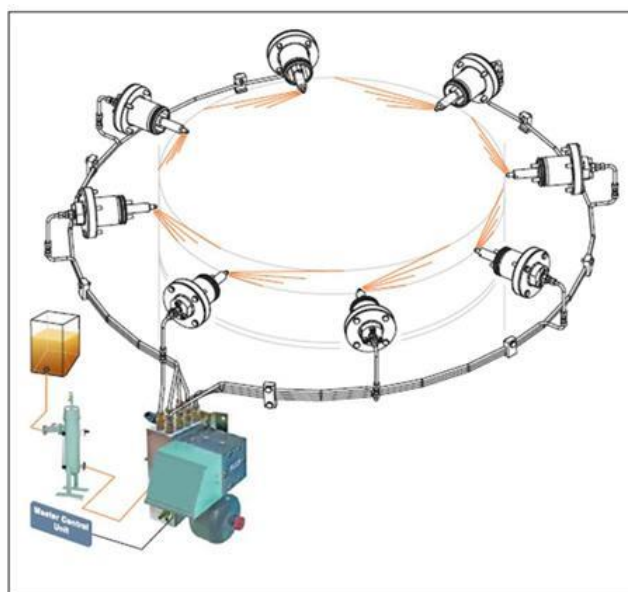
likaantumista, lisää pakokaasujen muodostumista ja lisää NOx ja hiukkaspäästöjen määrää.

Slide-venttiilin kärjessä oleva luisti estää polttoaineen kerääntymisen venttiilin kärkeen ruiskutuksen jälkeen, tämän johdosta sylinteriin ei pääse tihkumaan polttoainetta, jolloin epätäydellinen palaminen vähenee lähes nolllaan sekä palotilan likaantuminen vähenee huomattavasti. Myös polttoaineen kulutus vähenee, koska polttoainetta ei pääse palotilaan väärällä hetkellä (30. 31).

### 10.3 Sylinterin voitelujärjestelmä

MAN ja Wärtsilä ovat kehittäneet sylinterin voitelujärjestelmät, joilla saavutetaan jopa 20 – 50 % säästöjä voiteluainekustannuksissa slow steam -operoinnissa. Järjestelmillä voidaan säätää tarkemmin voiteluöljyn syöttömäärää kaikilla kuormilla. Tarkemmalla voiteluaineen syöttömäärällä saadaan minimoitua liiallinen voitelu matalilla kuormilla ajettaessa, jolloin sylinteri pysyy puhtaampana.

Pulse-voitelujärjestelmä on sähköisesti ohjattu sylinterin voitelujärjestelmä, jossa oikea määrä voiteluöljyä syötetään oikeaan aikaan kuorman mukaan.



Kuva 19: Wärtsilä Pulse Lubrication System (32).

### Pulse lubrication -systemin rakenne ja toiminta

- Kahdeksan samassa tasossa olevaa suutinta, jotka on kiinnitetty sylinteriputken ympäri saavat syöttönsä sähköisesti ohjatulta annostelijapumpulta.
- Annostelijapumpulle öljy ohjataan tankista tiheän suodattimen läpi.
- Moottoriin on asennettu kampiakselin asennon tunnistavat sensorit. Ohjausjärjestelmä mittaa lisäksi moottorin kuormaa ja nopeutta ja määrittää sen pohjalta tarvittavan syöttötiheyden ja määrän.
- Voiteluöljy ruiskutetaan sylinteriin sylinteriputkissa olevista syöttöaukoista männän yöspäin suuntautuvan liikkeen aikana.
- WECS (Wartsila Engine Control System) on Pulse lubrication -systemin pääohjain joka ohjaa venttiilien aukeamista ja öljyn syöttöä.

Jokainen yksikkö koostuu kahdeksasta syöttöruiskusta, putkistojärjestelmistä sylinteri- ja servoöljylle, sekä solenoidi venttiilistä servoöljylle. Saatuaan tiedon sensorilta kampiakselin oikeasta asennosta WECS avaa solenoidiventtiilin, jolloin servoöljy lähtee virtaamaan. Tämä painaa sylinterin reunassa olevan ruiskun mäntää ja siellä oleva sylinteriöljy virtaa sylinteriin. Ruiskutuksen jälkeen ruiskun männän liikuessa taaksepäin se täyttyy jälleen sylinteriöljystä. WECS määrittää syötettävän öljymäärän kuorman ja polttoaineessa olevan rikin mukaan (32. 33, 3-9).

### 9.4 Moottorin uudelleen luokitus

Alukset jotka ovat suunniteltuja operoimaan noin 25 solmun nopeudella eivät kykene toimimaan alemmilla nopeuksilla yhtä taloudellisesti kuin alukset, jotka ovat suunniteltu slow steam -operointiin. Näille aluksille on mahdollista tehdä jälkikäteen muutoksia, joilla aluksen toimintaa ja taloudellisuutta saadaan parannettua. Optimoimalla moottorin ja potkurin toiminta-alue matalammalle nopeudelle soveltuviksi on mahdollista saavuttaa 10 - 12 % säästöt polttoaineen kulutuksessa. Moottorin luokituksen muuttaminen matalammalle

teholle ja nopeudelle on pysyvä muutos ja kannattava tehdä vain, jos aluksen odotetaan jatkavan pitkään slow steam operointia.

Moottorin muutostyöt:

- Sylinterien deaktivointi tai iskunpituuden lyhentäminen lisäämällä levyjä ristikkappaleen ja männän varren väliin.
- Potkurin vaihtaminen. Aluksen alkuperäinen potkuri vaihdetaan uudelle operointinopeudelle optimoiduksi. Yleensä potkurin halkaisija kasvaa moottorin kierrosnopeutta laskettaessa. Suuremmalla potkurilla saavutetaan parempi tehokkuus ja se mahdollistaa matalamman pyörimisnopeuden.
- Polttoaineen sumuttimien vaihtaminen.
- Slide- polttoaineventtiilien asennus, jotka pienentävät polttoaineen kulutusta ja moottorin likaantumista.
- Turboahtimien uusiminen, jotka toimivat tehokkaammin hitaammalla moottorin pyörimisnopeudella.
- Polttoaineen syötön ajoituksen muuttaminen (31).

## 11 JOHTOPÄÄTÖKSET

Slow steam tarjoaa konttirahteja tarjoaville varustamoille mahdollisuuden alentaa alusten polttoaine- ja voiteluainekustannuksia, sekä samalla parantaa ympäristö ystävällisyyttä. Lisääntynyt aluskanta ja pienentynyt kysyntä on johtanut tilanteeseen, jossa kaikille uusille aluksille ei löydy rahtia kuljetettavaksi. Ylikapasiteetti, laskenut kysyntä ja alhainen öljyn hinta on johtanut siihen tilanteeseen, että rahtihinnat ovat laskeneet kaikkien aikojen alimmalle tasolle ja tästä syystä useimpien varustamoiden tulokset ovat kääntyneet tappiollisiksi. Alennetulla liikennöintinopeudella varustamot voivat purkaa alusten ylikapasiteettia ja pitää edelleen samat viikkolähdöt.

Vaikka slow steaming on tarjonnut varustamoille helpotusta kannattavuusongelmiin, on se tuonut mukanaan haasteita kuljetusten tilaajille. Varustamot lupailivat slow steamin parantavan aikatauluissa pysymistä, mutta lupauksista huolimatta selvää aikatauluissa pysymisen parantumista ei ole tapahtunut. Koska kuljetusajat ovat pidentyneet, on se tuonut kuljetusten tilaajille lisää työtä ja kustannuksia, muun muassa lisäämällä kuljetusten suunnittelua ja seurantaa. Lisäksi pidentynyt kuljetusaika sitoo pääomaa sekä nostaa varaston arvoa ja pienentää varaston kiertonopeutta.

Moottorin pyörimisnopeuden laskeminen aiheuttaa aluksen moottorille, kattilalle ja muille järjestelmille haasteita, sekä miehistölle lisätöitä. Koska järjestelmät ovat suunniteltu tietyille toiminta alueelle, poikkeaminen niiltä heikentää niiden optimaalista toimimista. Alennettu pyörimisnopeus laskee moottorin lämpötilaa, joka heikentää polttoaineen palamista. Pakokaasujen virtausnopeuden lasku aiheuttaa turboahtimen pyörimisnopeuden laskua ja ahtopaine moottoriin alenee. Pakokaasujen matalampi lämpötila ja virtausnopeus alentavat pakokaasukattilan höyryntuotantoa ja lisää apukattilan käyttöä. Lisäksi alennettu nopeus aiheuttaa lisääntyntä kasvuston kertymistä runkoon ja potkuriin aiheuttaen kulkuvastuksen kasvua, joka lisää polttoaineen kulutusta.

Jotta nämä haasteet saadaan hallintaan, vaatii se moottorin ja muiden järjestelmien uudelleen säätämistä, sekä huollon ja tarkastusten lisäämistä. Moottorin käyntilämpötila tulee säätää oikealle tasolle nostamalla HT veden lämpöä sekä turboahtimen hyötysuhdetta on parannettava poistamalla yksi ahdin käytöstä, mikäli moottorissa on vähintään kaksi ahdinta. Säätämällä käyntilämpötila ja ahtimen toiminta oikeanlaiseksi, saadaan myös pakokaasukattilan toiminta optimoitua alemmilla kuormilla ajettaessa.

Slow steam aiheuttaa paljon muutostöitä koneistolle sekä lisää miehistön työ määrää. Jotta varustamo hyötyisi taloudellisesti mahdollisimman paljon slow steamin hyödyistä, vaati se varustamoilta investointeja slow steamiin tarkoitettuihin järjestelmiin, järjestelmien uudelleen optimointiin sekä miehistön koulutukseen.

## LÄHTEET

1. Review of Maritime Transport. 2015. UNCTAD. Saatavissa: [http://unctad.org/en/PublicationChapters/rmt2015ch3\\_en.pdf](http://unctad.org/en/PublicationChapters/rmt2015ch3_en.pdf) [viitattu 10.10.2015]
2. Hanjin Shipping Bankruptcy. 2016. JOC. Saatavissa: <http://www.joc.com/special-topics/hanjin-shipping-bankruptcy> [viitattu 20.9.2016]
3. Wang, D. 2013. Guide to Ocean Alliances. Flexport. Saatavissa: <https://www.flexport.com/blog/what-are-ocean-alliances/> [viitattu 15.9.2016]
4. Shanghai Containerized Freight Index. 2016. BIMCO. Saatavissa: [https://www.bimco.org/en/Reports/Market\\_Analysis/2014/0617\\_ContainerS MOO2014-03.aspx](https://www.bimco.org/en/Reports/Market_Analysis/2014/0617_ContainerS MOO2014-03.aspx). [viitattu 15.6.2015].
5. Illing, D. 2015. Addressing the ultra-large container ship challenge. JOC. Saatavissa: [http://www.joc.com/maritime-news/container-lines/addressing-ultra-large-container-ship-challenge\\_20150417.html](http://www.joc.com/maritime-news/container-lines/addressing-ultra-large-container-ship-challenge_20150417.html)) [viitattu 22.6.2015]
6. Centrx, BDP International and St. Joseph`s University. 2011. BDP International. What companies are saying about the impacts of slow steaming practices. Saatavissa: <http://www.bdpinternational.com/market-research/> [viitattu 22.6.2015]
7. Maloni, M. Paul, J. Gligor, D. 2013. Maritime Economics & Logistics. Slow steaming impacts on ocean carriers and shippers. Saatavissa: <http://www.palgrave-journals.com/mel/journal/v15/n2/full/mel20132a.html> [viitattu 22.6.2015]
8. Bunker price index. 2016. Bunkerindex. Saatavissa: [http://www.bunkerindex.com/prices/bixfree\\_1506.php?priceindex\\_id=2](http://www.bunkerindex.com/prices/bixfree_1506.php?priceindex_id=2) [viitattu 27.6.2015]
9. Notteboom, T. Carriou, P. 2009. Hofstra University, New York USA. Fuel Consumption by Containership Size and Speed. Saatavissa: [https://people.hofstra.edu/geotrans/eng/ch8en/conc8en/fuel\\_consumption\\_containerships.html](https://people.hofstra.edu/geotrans/eng/ch8en/conc8en/fuel_consumption_containerships.html) [viitattu 4.8.2015]



10. Chung, Y. Hau, L. Zhang, J. 2015. Hong Kong University of Science & Technology. The Impact of Slow Ocean Steaming and Delivery Reliability and Fuel Consumption. Saatavissa:  
<http://verse.ust.hk/papers/SlowSteaming.pdf> [viitattu 8.8.2016]
11. Drewry. 2015-17. Drewry Shipping Consultants Limited. Reliability before speed. Saatavissa: <http://ciw.drewry.co.uk/release-week/2015-17/> [viitattu 1.9.2016]
12. Wiesmann, A. 2010. Wärtsilä Services. Wärtsilä Technical Journal: Slow steaming a viable long term option. Saatavissa:  
<http://cdn.wartsila.com/docs/default-source/Service-catalogue-files/Engine-Services---2-stroke/slow-steaming-a-viable-long-term-option.pdf?sfvrsn=2>  
[viitattu 10.9.2015]
13. Marinediesels.co.uk. Marine diesels. The 2- Stroke crosshead Engine. Saatavissa: <http://www.marinediesels.info/index.html> [viitattu 3.7.2015]
14. Marineengineering.org.uk. Marine engineering. Diesel Engine Combustion Process. Saatavissa: [www.marineengineering.org.uk](http://www.marineengineering.org.uk) [viitattu 10.7.2015]
15. Kowalak, P. 2015. Maritime University of Szczecin. Chief Engineers Hands on Experience of Slow Steaming Operations. Saatavissa:  
[https://www.researchgate.net/publication/277011499\\_Chief\\_engineer's\\_hands\\_on\\_experience\\_of\\_slow\\_steaming\\_operation](https://www.researchgate.net/publication/277011499_Chief_engineer's_hands_on_experience_of_slow_steaming_operation) [viitattu 10.10.2015]
16. Exxon Mobil. Exxon. What is cold corrosion?. Saatavissa:  
[https://lubes.exxonmobil.com/MarineLubes-En/your-industry\\_hot-topics\\_clo-cold-corrosion.aspx](https://lubes.exxonmobil.com/MarineLubes-En/your-industry_hot-topics_clo-cold-corrosion.aspx) [viitattu 27.8.2016]
17. Sanguri, M. 2016. Marineinsight. How to Test Ship's Main Engine for Slow Steaming? Saatavissa: <http://www.marineinsight.com/marine/marine-news/headline/how-to-test-ships-main-engine-for-slow-steaming/> [viitattu 1.9.2016]
18. MAN Diesel SE, Common Rail. Saatavissa:  
<http://pdf.nauticexpo.com/pdf/man-diesel-se/common-rail-brochure/21500-82190.html> [viitattu 2.9.2016]

19. Wärtsilä Service Bulletin. RTA-79.2 RT-flex-08.2. 2009. Technical Information to all Owners. Wärtsilä. Saatavissa: <https://de.scribd.com/document/86575598/Http-Bulletins-wartsila-com-Bulletins-File-Wch-RTA-79-2> [viitattu 15.10.2015]
20. Antonopoulos, D. 2014. Wärtsilä Modern 2- stroke engines. Wärtsilä. Saatavissa: [http://www.chiosmarineclub.gr/W%C3%A4rtsil%C3%A4\\_2\\_Stroke\\_Antonopoulos\\_January\\_2014\(final\).pdf](http://www.chiosmarineclub.gr/W%C3%A4rtsil%C3%A4_2_Stroke_Antonopoulos_January_2014(final).pdf) [viitattu 14.9.2015]
21. Machinery Spaces.com. 2016. Machinery Spaces. Exhaust Gas Boilers and Economisers working procedure. Saatavissa: <http://www.machineryspaces.com/exhaust-gas-heat-exchangers.html> [viitattu 17.9.2015]
22. MEPC 65/7/2 Interpretations of and Amendments to MARPOL and Related Instruments. 2013. IMO MEPC. Saatavissa: <https://www.cdlive.lr.org/information/documents/imomarineservices2010/mepc%2065%20summary%20report.pdf> [viitattu 28.8.2016]
23. Paulsen, T. Schonberg, M. Loss Prevention Circular 2011. Gard. Exhaust Boiler Damages. Saatavissa: [www.gard.no](http://www.gard.no) [viitattu 10.7.2015]
24. Lloyd's Register Marine Services. 2008. Lloyd's Register. Container Ship Speed Matters. Saatavissa: [www.martek-marine.com](http://www.martek-marine.com) [viitattu 11.7.2015]
25. gCaptain. 2013. Hull Fouling Control. Saatavissa: [http://gcaptain.com/hull-fouling-control-innovation/#.VaN1K3kw\\_IU](http://gcaptain.com/hull-fouling-control-innovation/#.VaN1K3kw_IU) [viitattu 21.8.2015]
26. IMO Anti-fouling Systems. 2016. IMO. Saatavissa: <http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Anti-foulingSystems/Pages/Default.aspx> [viitattu 19.8.2016]
27. Kasvuston likaamat potkurit. Saatavissa: <http://www.billdietrich.me/props.jpg> [viitattu 06.8.2015]
28. Kavitaation aiheuttamaa kulumaa potkureissa. Saatavissa: <http://www.nps.gov/safr/learn/historyculture/propsaquaticpark.htm> [viitattu 6.8.2015]

29. Wärtsilä Upgrade Kit Slow Steaming RTA, RT-Flex. 2009. Wärtsilä.  
Saatavissa: <http://cdn.wartsila.com/docs/default-source/Service-catalogue-files/Engine-Services---2-stroke/slow-steaming-upgrade.pdf?sfvrsn=2>  
[viitattu 9.9.2016]
30. MAN Introduction of Slide Fuel Valve. SL02-403/UM. 2002. MAN.  
Saatavissa: <http://www.corporate.man.eu/en/index.html> [viitattu 23.8.2015]
31. MAN Diesel & Turbo. 2012. MAN. Slow Steaming Benefiting retrofit solution from MAN PrimeServ. Saatavissa: <http://primeserv.man.eu/overview>  
[viitattu 23.8.2015]
32. Karan, C. 2016. Marineinsight. Wärtsilä Pulse Lubricator System.  
<http://www.marineinsight.com/marine/marine-news/headline/intelligent-cylinder-lubrication-for-modern-marine-engines-part-1/> [viitattu 26.8.2015]
33. Wärtsilä Technical Journal 02.2010. Wärtsilä. Cylinder Lubrication of Two Stroke Crosshead Marine Diesel Engines. Saatavissa: [www.wartsila.com](http://www.wartsila.com)  
[viitattu 2.9.2015]