

Pekka Pohtila

Laivan kokonaishyötysuhteen parantaminen

Opinnäytetyö

2017



**Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu**

Tekijä/Tekijät Pekka Pohtila	Tutkinto Merenkulkualan in- sinööri (AMK)	Aika Helmikuu 2017
Opinnäytetyön nimi Laivan kokonaishyötysuhteen parantaminen		45 sivua 2 liitesivua
Toimeksiantaja TKI		
Ohjaaja Alexander Shaub		
Tiivistelmä Tässä työssä on tutkittu eri vaihtoehtoja laivan hyötysuhteen parantamiseen eri valmistajien tuotteita tutkimalla ja huomioiden nykyiset ja tulevat päästömääräykset. Hyötysuhde tulee siitä, kun tietty määrä energiaa kulutetaan ja siitä hyödynnetty osuus laskeaan hyötysuhteeksi ja loput ovat hukkaenergiaa. Laiva on kuin yksi pieni kaupunki, ja laivalla on laitteita laidasta laitaan joita voidaan kehittää. Aluksen propulsioon tuottajina toimivat isot nelitahti- tai kaksitahtiturbokoneet, joiden hyötysuhde vaihtelee 25—50% välillä. Näiden polttoaineena käytetään raskasta polttoöljyä (HFO), meridieseliä (MDO) ja nesteytettyä maakaasua (LNG), joka ruiskutetaan koneeseen 250—2000 baarin paineella riippuen ruiskutusjärjestelmästä. Eri tapoja vähentää päästöjä ovat vesiruiskutus, LNG polttoaine, nykyaikainen turboahdaminen, Mille-ajotus, tai pakokaasupesurit ja katalysaattorit. Aluksen hyötysuhdetta voidaan parantaa uudenaikaisilla potkureilla, azipodeilla ja roottoripurjeilla. Koneisto voidaan päivittää nykyaikaisilla taajuusmuuttajilla, akseligeneraattoreilla ja automaatiojärjestelmällä. Polttoaineen turhaa palamista voidaan vähentää puhdistamalla aluksen pohja ja potkuri säännöllisesti sukelluksilla. Nykyaikaisella huoltosuunnitelmalla voidaan säästää kuluissa, kun viat korjataan ennen kuin ne aiheuttavat tehon vähenemistä ja vältetään turhaa korjaamista.		
Asiasanat Laiva, hyötysuhde, energiatehokkuus, optimointi, koneisto, moottori, propulsio, huolto.		

Author (authors)	Degree	Time
Pekka Pohtila	Bachelor of Marine Technology	February 2017
Thesis Title		
Improving ships total efficiency		45 pages 2 pages of appendices
Commissioned by		
TKI		
Supervisor		
Alexander Shaub		
Abstract		
<p>This thesis has researched the different possibilities for improving ship's efficiency by examining products from different manufacturers, but keeping in mind current and future emission regulations. Efficiency comes from a certain amount of energy consumed and the amount that is utilized from that is efficiency and the rest is waste energy.</p>		
<p>Ship is like one tiny city and there are, a wide range of systems, that can be improved. Vessels propulsion producers are big four strokes or two stroke turbocharged engines, which efficiency is around 25—50%. Fuel that these use is heavy fuel oil (HFO), marine diesel oil (MDO) and liquid natural gas (LNG) what is then injected to the engine at pressures of 250—2000 bar depending on the injection system.</p>		
<p>Different ways to reduce emissions are water injection, LNG fuel, modern turbocharging, Miller timing, or exhaust gas scrubbers and catalytic converters. Ships efficiency can be improved with modern propellers, azipods and rotor sails. Machinery can be upgraded with modern variable frequency drives, shaft generators and automation system.</p>		
<p>Waste fuel burning can be reduced by cleaning ship's keel and propeller regularly by scuba diving. With a modern maintenance program, it is possible to save in expenses, when problems are fixed before they cause reduction in efficiency and by avoiding excessive maintenance.</p>		
Keywords		
Energy efficiency, ship, propulsion, heat recovery, machinery, engine, maintenance.		

SISÄLLYS

KÄSITTEET	6
1 JOHDANTO	7
2 LAIVAN KOKONAISHYÖTYSUHDE	8
3 PÄÄKONEET.....	9
3.1 Dieselkierto.....	10
3.2 Nelitahtimoottorin hyötysuhde.....	11
4 RUISKUTUSJÄRJESTELMÄ.....	12
4.1 Yhteispaineruiskutus eli Commonrail.....	13
4.2 Vesiruiskutus	14
4.3 Nesteytetty maakaasu, LNG	15
5 TURBOAHTAMINEN	15
5.1 Kaksoisturbohtaminen	17
5.2 Välijäähdytys.....	18
6 NOKKA-AKSELI JA VENTTIILIKONEISTO	19
6.1 Ajoitus.....	20
6.2 Miller ajoitus.....	21
7 APUKONEET JA KONEISTOT.....	22
7.1 Apukoneet	22
7.2 Vaihdelaatikko	22
7.3 Pumput ja puhaltimet	23
7.4 Separaattorit	24
8 PROPULSIO.....	25
8.1 Potkuri	25
8.2 Numeerinenvirtausdynamiikka CFD ja potkurimalli EnergoProFin.....	26
8.3 Azipod.....	28
8.4 CRP Azipod	29
8.5 Roottoripurje	30

9	LÄMMITYS JA LÄMMÖNTALTEENOTTO	31
10	KATTILAT JA POLTTIMET	32
11	AUTOMAATIO- JA SÄHKÖJÄRJESTELMÄT	33
12	AKSELIGENERAATTORI	33
13	HUOLLOT	35
14	HUOLLON OPTIMOINTI	36
15	WÄRTSILÄ HYBRID POWER MODULE	37
16	YHTEENVETO HYÖDYISTÄ	37
17	JOHTOPÄÄTÖKSET	39
18	LOPPUSANAT	40
	LÄHTEET	41
	LIITTEET	46

KÄSITTEET

ABB = Johtava teknologian edelläkävijä, jonka tarjonta kattaa niin sähköistystuotteet, robotit ja liikkeenohjauksen kuin teollisuusautomaation ja sähköverkoratkaisut.

Azipod = Laivojen sähköpropulsiojärjestelmien tuoteperheen rekisteröity tavamerkki

Ballast water = Painolastivesi

Blackout = Laivalla katkeaa sähköt/loppuu sähköntuotto generaattoreilta ennen kuin apugeneraattori käynnistyy

CPP = Säättösiipi potkuri (Controllable Pitch Propeller)

Evaporaattori = Alipaineessa olevasta merivedestä höyrystämällä tuottaa makeaa vettä

FPP = Kiinteä siipinen potkuri (Fixed Pitch Propeller)

HFO = Raskas polttoöljy

LNG = Nesteytetty maakaasu

MAN = Teollisuuden tuotteita valmistava yritys, joka valmistaa kuorma-autoja, dieselmoottoreita ja erilaisia turbiineja

MDO = Kevyt polttoöljy, tai meridiesel (Marine Diesel Oil)

Norsepower = Suomalainen puhtaan teknologian ja insinööriyön yhtiö, joka rakentaa ja kehittää nykyaikaisia roottoripurjeita laivoille

NOx = Typpioksidi

Propulsio = Laivan työntövoiman tuottava järjestelmä

RO-RO = Roll on Roll out eli alukseen kuljetetaan lasti renkailla

Separaattori = Kone joka keskipakovoiman avulla erottaa kaksi ainetta toisistaan

SFOC = Polttoaineenominaiskulutus

SOx = Rikkidioksidi

Wärtsilä = Kansainvälisesti johtava edistyksellisen teknologian ja kokonaislinjaariratkaisujen toimittaja merenkulku- ja energiamarkkinoilla

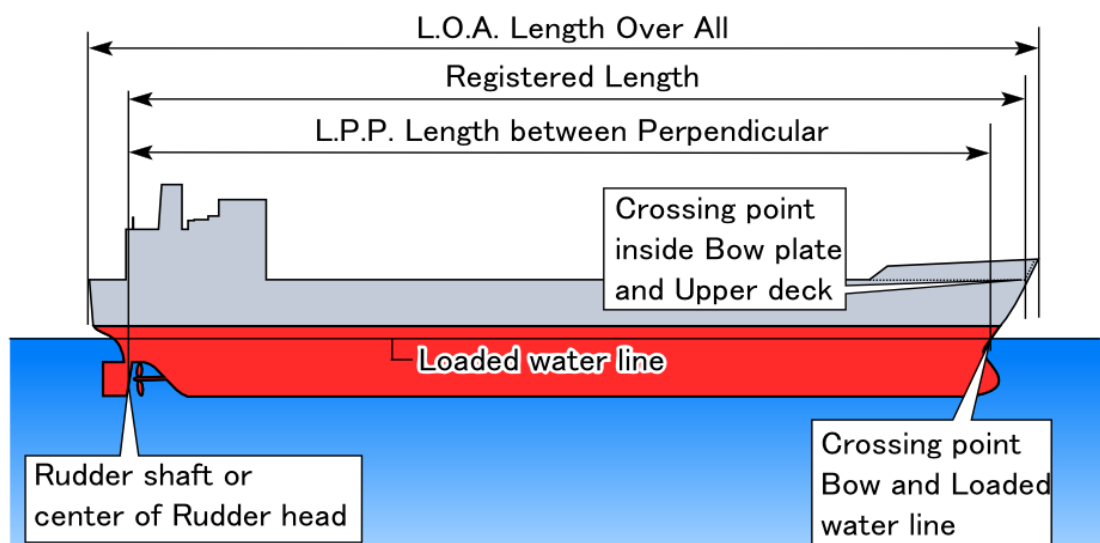
1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on tutkia eri vaihtoehtoja laivan hyötysuhteen parantamiseksi. Työssä pyritään huomioimaan nykyiset ja tulevat päästö-määräykset, jotta saadaan optimaalinen ratkaisu, jossa ei tule ongelmia päästöjen kanssa.

Meriteollisuus ja koko maailma etsivät kiihkeästi uusia ratkaisuja, joilla päästöjä voidaan vähentää, mutta samalla kaiken pitäisi myös olla kustannustehokasta ja kannattavaa. Tämä aiheuttaa melkoisia ristiriitoja, kun laivan pitäisi ehtiä satamasta toiseen mahdollisimman nopeasti kuluttamatta polttoainetta tai tuottamatta päästöjä. Onneksi alalla on paljon isoja firmoja, joilla on halua ja kykyä kehittää nykyaikaista tekniikka, jolla voidaan päästä näihin tavoitteisiin. Tässä työssä on käytetty hyväksi paljon esimerkiksi Wärtsilän, ABB:n ja MAN:n kehitystyötä.

Jotta työn laajuus ei kasvaisi liikaa, on työ rajoitettu nelitahtikoneisiin. Rungon muotoa, reittiä, lastinkäsittelylaitteita tai sääolosuhteita ei ole otettu huomioon. Muutenkin pääpaino on koneistoissa ja koneistojen parantamisessa. Järjestelmät ja niiden toiminta on yritetty selittää lyhyesti ja ytimekkäästi, jotta itse pääaihetta voidaan käsitellä paremmin.

Ship size (side view)



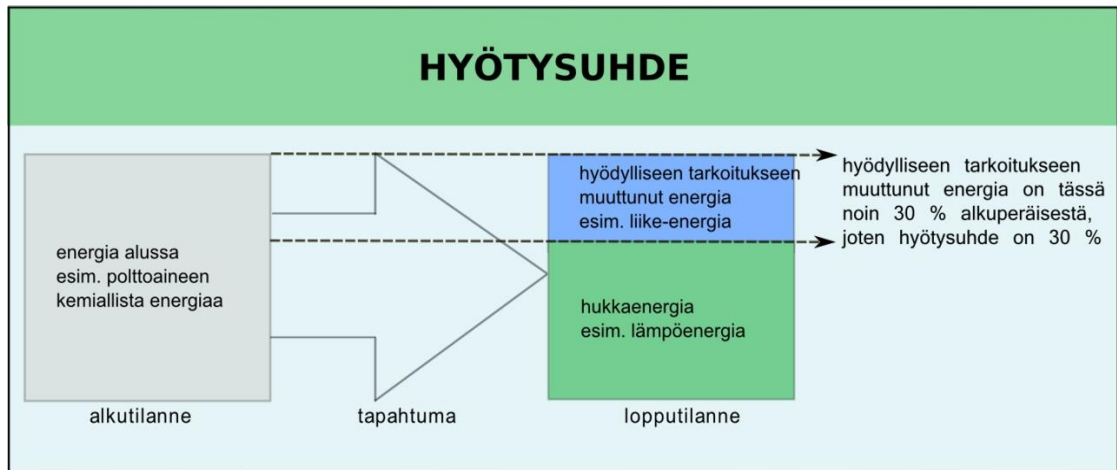
Kuva 1. Esimerkki alus

Pituus = 175m

Leveys = 25m

Syväys = 8.5m

2 LAIVAN KOKONAISHYÖTYSUHDE



Kuva 2. Esimerkki hyötysuhteesta (Hyötysuhde)

Hyötysuhde on se, kuinka suuri osa tietyistä määrästä energiaa on pystytty hyödyntämään. Loput energiasta menee hukaksi lämpönä, palamattomana aineena ynnä muuna (kuva 2). Aluksella puhutaan yleensä polttoaineen energiasta ja siitä, paljonko dieselmoottorin hyötysuhde on ja paljonko siitä lopulta menee potkurille tehoa.

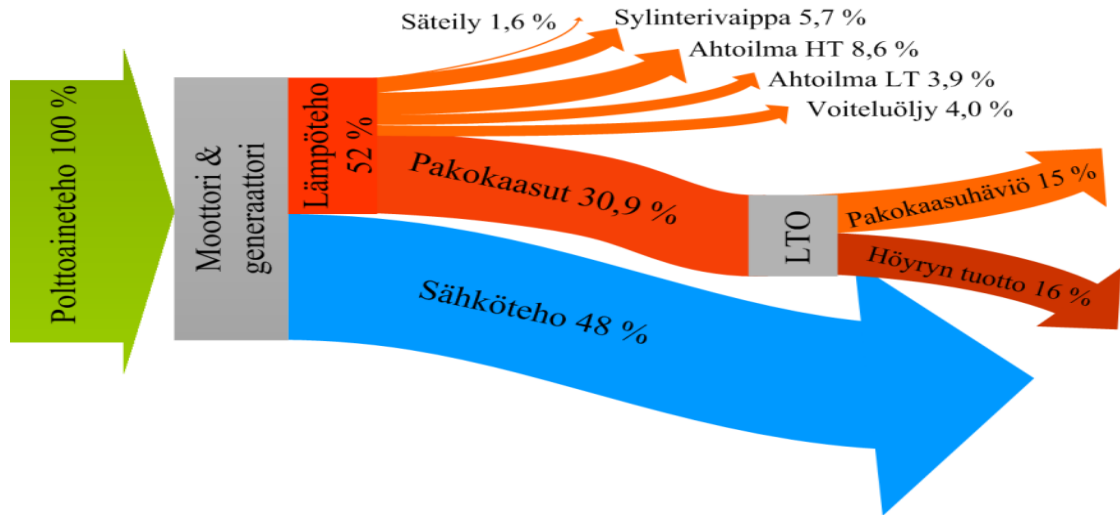
Moottoireissa suurin osa energiasta menee hukkaan lämpönä, pakokaasuna ja säteilynä koneesta tai sähköntuotantoon akseligeneraattorilta. Myös moottorien huono palotilan suunnittelu, ruiskutus ja optimointi tai optimoinnin puute heikentävät hyötysuhdetta (kuva 3).

Hukkaenergiaa pyritään hyödyntämään keräämällä pakokaasukattiloilla lämpöä pakokaasusta höyryn tuottamiseen. Höyryllä voidaan lämmittää esimerkiksi vettä ja asuintiloja. Makeaa vettä voidaan tuottaa merivedestä evaporattoreilla koneen jäähdytysveden lämmöllä.

Energiaa menee hukkaan voimansiirtoon ja potkuriakselille, josta päästään potkuriin. Potkurin hyötysuhde riippuu siitä, kuinka tarkkaan se on suunniteltu ja miten aluksen muotoilu on tehty. Potkurille tuleva vanavesi tulisi olla mahdollisimman homogeeninen hyvällä virtausnopeudella koko aluksen nopeusalueella.

Loput energiasta kuluu huollon puutteina, jotka heikentävät hyötysuhdetta. Vii-meisimpänä energiankulutukseen vaikuttaa komentosiltatyöskentely, kuten reitin valinta ja seilausnopeus.

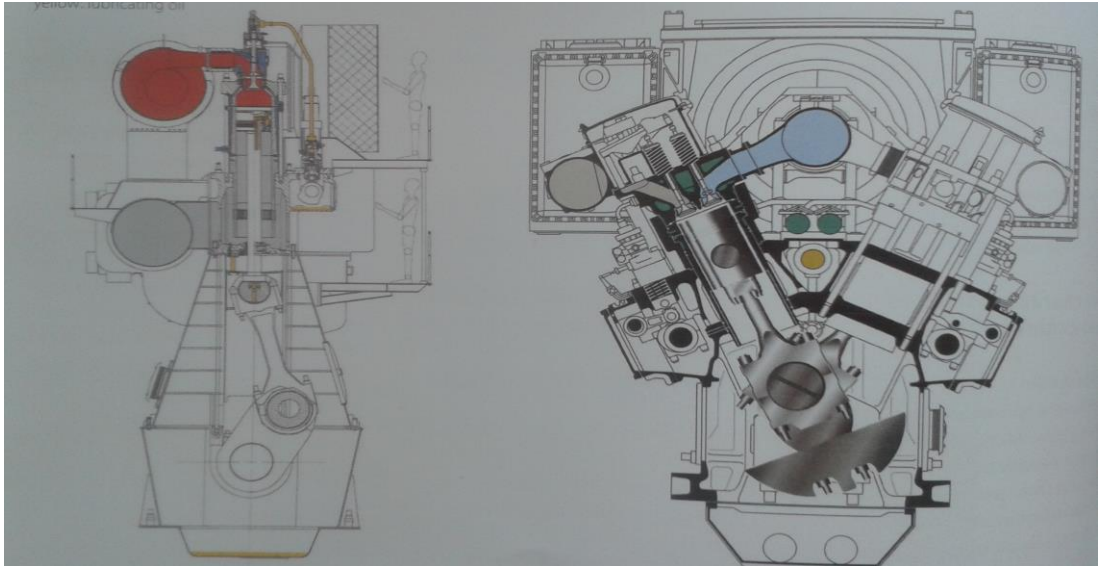
Polttoaineen sisältämä energiamäärä vaihtelee eri polttoaineiden ja laadun mukaan.



Kuva 3. Polttoaineteho ja hukat (Polttoainehäviöt Wärtsilä 2012)

3 PÄÄKONEET

Aluksen propulsiotehon tuottajana toimivat nykyään turboahdetut isot kaksi-tahti- ja nelitahtikoneet, joita voi olla yksi tai useampi riippuen tehon tarpeesta ja aluksen koosta. Koneiden tehot liikkuvat kahden megawatin ja 100 megawatin välillä. Nelitahtikoneita on suora ja V-koneina eli sylinterit ovat toisiinsa nähden 45—120 asteen kulmassa ja niitä on 6—20 kappaletta (kuva 4) (Kui-ken 2012a, 18—29).



Kuva 4. Vasemmalla suora moottori ja oikealla V-moottori (Kuiken 2012a)

V-moottoreita käytetään useammin, koska ne vievät vähemmän tilaa kuin saman tehomäärän sisältämät kaksi suoraa konetta. V-moottorit ovat hinnaltaan halvempia. Laivoilla suositaan suoria koneita niiden huoltoystävällisyyden takia. Jos käytössä on kaksi konetta, on mahdollista ajaa toisella, jos toinen vaatii huoltoa tai on hajonnut (Kuiken 2012a, 30—31).

Pääkoneina toimivien nelitahtikoneiden kierrosnopeudet vaihtelevat 400—1000rpm välillä ja kaksitahtikoneissa 50—250rpm välillä. Tehot liikkuvat 1500 kilowatin ja 100,000 kilowatin välillä (Kuiken 2012a, 18—27).

3.1 Dieselkierto

Nelitahti-dieselkoneessa on nimensä mukaisesti neljä tahtia: imu, puristus, työ ja pakotahti. Imutahdilla molemmat imuventtiilit aukeavat ja sylinteriin virtaa ilmaa. Imuventtiilit sulkeutuvat, kun mäntä on alakuolokohdassaan (BDC). Puristustahtilla mäntä puristaa ilmaa kasaan noustessaan kohti yläkuolokohdasta (TDC) (Kuiken 2012a, 38—47).

Työtahti alkaa, kun sylinteriin ruiskutetaan korkealla paineella polttoainetta hiukan ennen kuin mäntä on TDC:ssä, jolloin ilma ja polttoaine sekoittuvat ja syttyvät itsestään. Paine ja lämpötila kasvavat hetkessä ja painavat mäntää alaspäin. Mäntä taas pyörittää kampiakselia kiertokangen kautta (Kuiken 2012a, 38—47).

Pakotahdilla pakiventtiilit aukeavat, kun mäntä on BDC:ssä ja männän liikkuessa kohti TDC:tä tyhjentää pakokaasut sylinteristä. TDC:ssä imu ja pakiventtiilit ovat hiukan auki yhtä aikaa ennen kuin pakotenttiilit sulkeutuvat, jolloin myös uusi kierto alkaa imutahdilla (Kuiken 2012a, 38—47).

3.2 Nelitahtimoottorin hyötysuhde

Dieselmoottorien hyötysuhde vaihtelee 25—50% välillä riippuen koneen koosta. Suhde kasvaa isommissa koneissa. Moottorista saatava mekaaninen hyötysuhde on 90—92%, loput menevät kitkavoimiin, korkeapainepumppuihin, venttiilikoneistoon, sekä voitelu- ja jäähdytyspumppuihin. Moottorinvalmistajat yleensä ilmoittavat akseliilta ulosmitatun tehon, jolloin saadaan todellinen käytävissä oleva teho (kuva 5) (Kuiken 2012a, 50—71).

$$\text{Hyötysuhde} = \frac{\text{Akseliteho}}{\text{Polttoaineteho}}$$

Teho saadaan moottorin ulosottoakselilta joko momentinlaskimella tai laske-
malla moottorin huippupaine kaavalla:

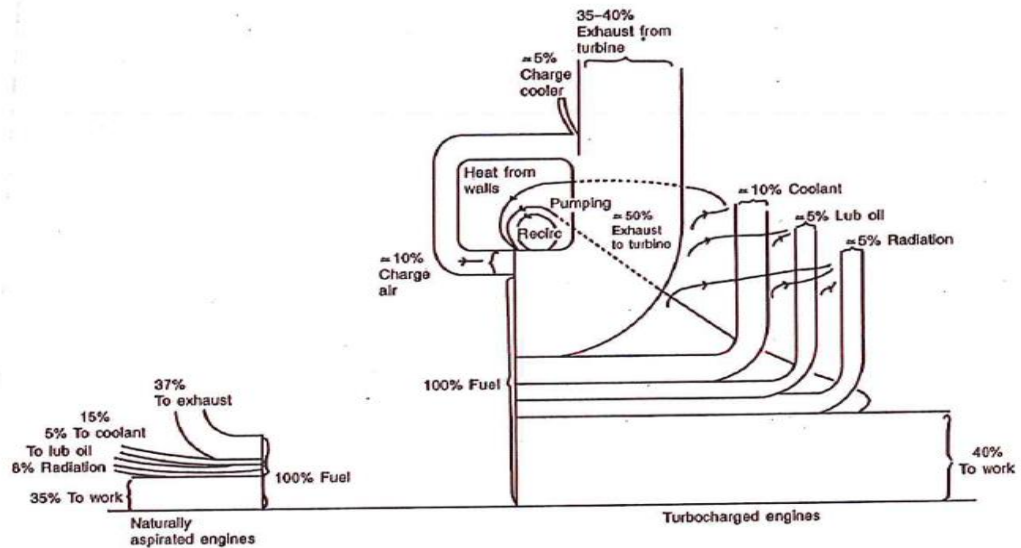
$$P_i = \frac{\pi}{4} \times D^2 \times S \times \frac{n}{a} \times Z \times p_i$$

- P_i = Teho (Megawatti)
- D = Sylinterin halkaisija (metri)
- S = Iskun pituus m (metri)
- n = Kierrosnopeus sekunnissa 1/s
- a = 1 on kaksitahti ja 2 on nelitahti
- Z = sylinterimäärä
- p_i = Huipputeho (Megapascal)

Moottorin hyötysuhde lasketaan polttoaineen ominaiskulutuksen (SFOC) kautta. Esimerkiksi Uusi Wärtsilä 31 kone: SFOC 170,6 g/kWh dieselillä, Dieselin lämpöarvo 43,500 kJ/kg. Dual fuel 7285kJ/kWh eli kaasu ja diesel käytössä.

$$\text{Polttoaineteho} = \frac{0.1706 \times 43,500}{3600} = 2.061 \text{ kJ/s} = 2.061 \text{ kW}$$

$$\text{Hyötysuhde on } \frac{1}{2.061} = 48.5\% \text{ ja DF:lla olisi } 49.4\%$$



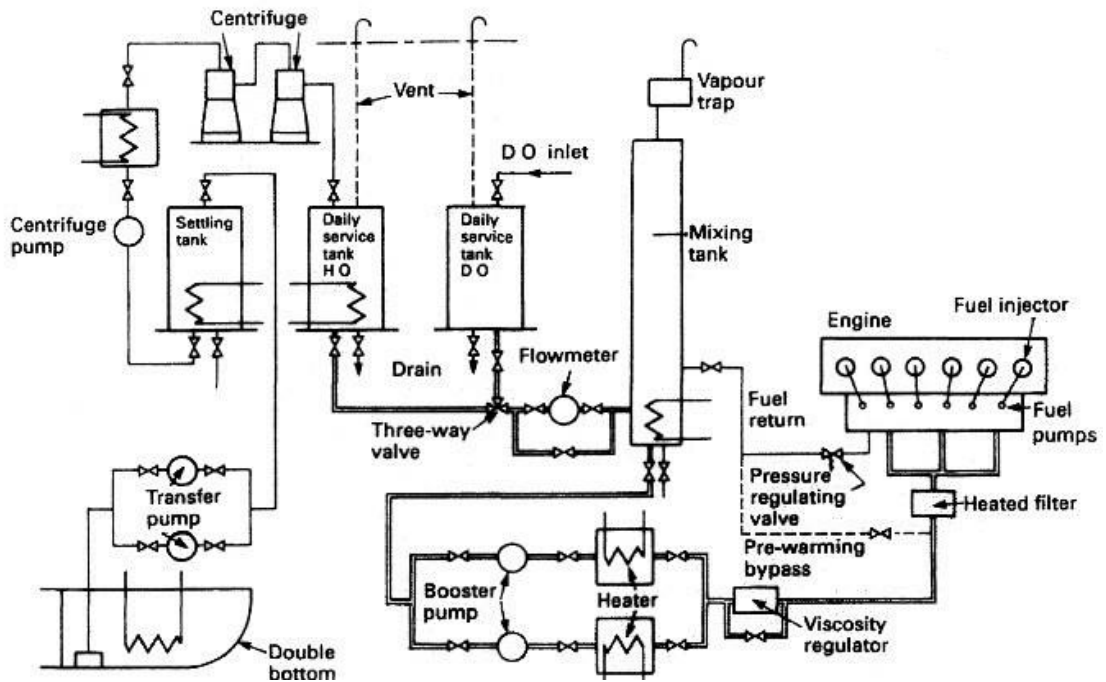
Kuva 5. Vasemmalla vapaasti hengittävä moottori ja oikealla turboahdettu moottori (Nelitahtikonkeen hyötysuhde ja hukat 2004)

4 RUISKUTUSJÄRJESTELMÄ

Polttoaineena käytetään yleisesti raskasta polttoöljyä eli HFO:ta, mutta myös muut polttoaineet kuten nesteytetty maakaasu (LNG) ja tietysti dieselöljy (MDO) ovat yleistyneet uusien päästödirektiivien myötä. Raskas öljy vaatii lämmityksen koko ajan varastotankeissa, jotta sitä voidaan pumpata, koska se on huoneenlämmössä käytännössä lapiotavaraa. Jotta öljy voidaan ruiskuttaa koneeseen kunnolla pitää se lämmittää n. 120 °C, jolloin päästään 13—17 cSt:een (centtistokeen) (Kuiken 2012a, 170—236).

Dieselöljyä ei käytännössä koskaan tarvitse lämmittää vaan jäähdyttää, koska se lämpenee järjestelmässä kiertäessään liikaa. Maakaasu pidetään kylmänä (noin -163 °C), jolloin se pysyy nesteenä ja siitä höyrystyvä osa voidaan ruiskuttaa koneeseen (Kuiken 2012a, 170—236).

Polttoaine ruiskutetaan palopesään suoraan kannen keskeltä parhaan palotahtuman saavuttamiseksi. Ruiskutusaine vaihtelee 250—2000 barin välillä riippuen ruiskutusjärjestelmästä ja koneesta. Ruiskutussuuttimelle polttoaine tulee nokka-askelilla pyörivältä korkeapainepumpulta ja siihen siirtopumpulta päivätankista (kuva 6) (Kuiken 2012a, 170—236).



Kuva 6. Polttoainejärjestelmän yleisjärjestely (Polttoainejärjestelmä)

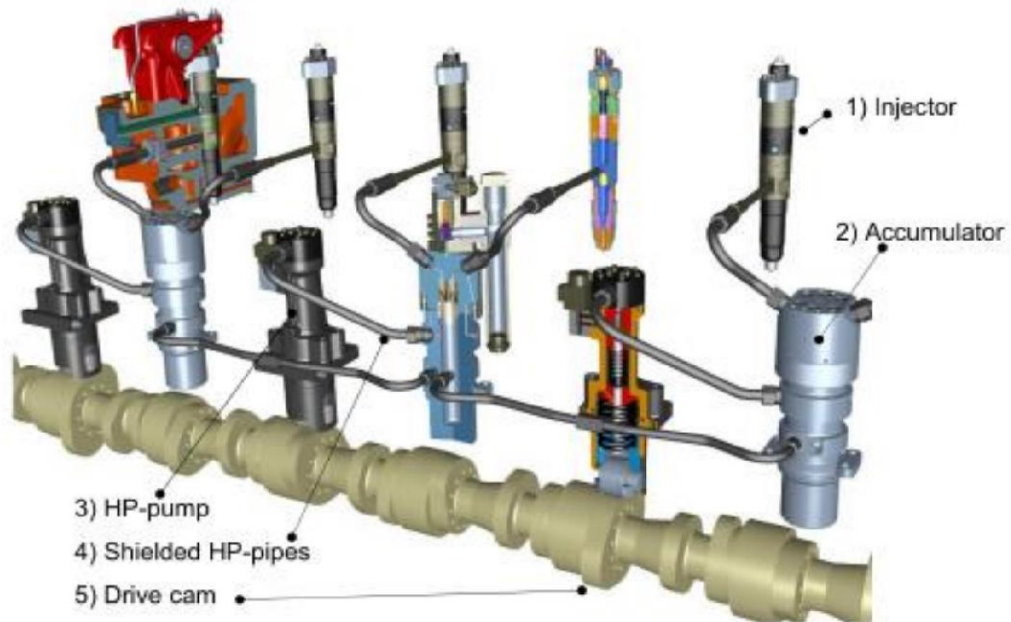
4.1 Yhteispaineruiskutus eli Commonrail

Commonrail kehitettiin, jotta saadaan savutusta vähemmäksi osakuormalla ja kiihdytettäessä. Commonrail parantaa polttoainetaloutta ja vähentää päästöjä. Parantunut palotapahtuma myös vähentää karstan syntyä ja pitää koneen puhtaana ja tehokkaampana pitkään (Kuiken 2012a, 201—221).

Järjestelmässä on periaatteessa yksi putki tai putken lisäksi muutama paineakku riippuen koneen sylinterimäärästä. Polttoaineen paine nostetaan nokka-akselilla ajettavilla korkeapainepumpuilla (kuva 7). Pumput eivät periaatteessa tarvitse nokka-akselia pyöriäkseen, vaan voisivat toimia, vaikka sähkömoottoreilla (Kuiken 2012a, 201—221).

Putkesta, tai akusta, polttoaine johdetaan suuttimille, joita ohjataan sähköisesti. Suuttimen ruiskutushetkeä voidaan säätää tietokoneella, ja suutin voi suorittaa useita ruiskutuksia yhden pitkän sijaan, koska ohjaus toimii millisekunneissa. Jokaista ruiskusuutinta voidaan ohjata erikseen, jolloin saadaan kone käymään tasaisemmin ja paremmin (Kuiken 2012a, 201—221).

Paine on luokkaa 800—2000 bar ja paine ei putoa samalla lailla kuin pumpusuuttimissa, koska kapasiteettia on enemmän ja ohjaus tarkempi. Suuttimelta tulee korkean paineen vuoksi erittäin hieno sumu sylinteriin, mikä sekoittuu paremmin ilman kanssa. Polttoainelaatujen erot voidaan myös huomioida ja säätää tarkemmin (Kuiken 2012a, 201—221).



Kuva 7. Yhteispaineruiskutus (Commonrail järjestelmä)

4.2 Vesiruiskutus

Vesi voidaan syöttää koneen imuputkeen tai suoraan sylinteriin erillisellä suuttimella, integroidulla polttoainesuuttimella, jossa on kaksi suutinpäätä tai emulsiona polttoaineen seassa. Vesi jäähdyttää sylinteriä ja ilmaa aina palotapah-tuman loppuun saakka ja vähentää typpioksidipäästöjä jopa 80%. Mitä enemmän sylinteriin syötetään vettä, sitä enemmän se vähentää typenoksidien syn-tyä, mutta noin 60% asti se ei vaikuta koneen tehoon. Veden määrä polttoai-neeseen nähden vastaa suunnilleen sitä, kuinka paljon typpioksidipäästöt vä-henevät (Kuiken 2012b, 151—158).

Järjestelmä on automaattinen ja vikatilanteessa sammuttaa itsensä. Järjes-telmä voidaan sammuttaa kokonaan ja laitteiston syöttöhetkeä ja määrää voi-daan kontrolloida elektronisesti. Veden laadun pitää olla hyvä ja yleisesti käy-tetään laivan evaporaattoreilla tehtyä vettä (Kuiken 2012b, 151—158).

4.3 Nesteytetty maakaasu, LNG

Maakaasu nesteytyy $-163\text{ }^{\circ}\text{C}$:ssa normaalipaineessa ja sitä korkeammassa lämpötilassa se on maakaasun muodossa. Maakaasu ei syty palamaan nesteenä, vain maakaasuna. Maakaasu täyttää tulevat ja nykyiset päästörajoitukset (Liite 1.). Maakaasu ei sisällä rikkiä ja on parempi lämpöarvo kuin ras-kaalla polttoaineella, noin. $13,7\text{kWh/kg}$ (Skangass 2014).

Nesteytetyn maakaasun käyttö laivoilla on tuttua ja turvallista, mutta käyttö vaatii omat laitteistot ja putkistot lämpötilan vuoksi. Nykyiset laitteistot eivät vie paljon tilaa, mutta tankkien tilavuus pitäisi olla noin nelinkertainen verrattuna dieselkäyttöön. Uudet tankit voidaan kuitenkin asentaa vanhoihin dieseltankkeihin, koska muodon ei tarvitse olla sylinterimäinen enää nykyaikana (Skangass 2014).

Parhaimmillaan maakaasu on Dual Fuel-käytössä, jolloin voi ajaa kaasulla tai tarvittaessa dieselillä. Dual Fuelin käyttö parantaa turvallisuutta, jos kaasun syötössä tulee ongelmia. Jakeluasemia rakennetaan koko ajan lisää, ja nykyään maakaasun jakeluverkosto on melko kattava ympäri maailmaa. Hinta on halvempi kuin dieselillä ja EU-alueella maakaasu on jopa halvempaa kuin ras-ka polttoaine (Bunkerworld.com 15.10.2017).

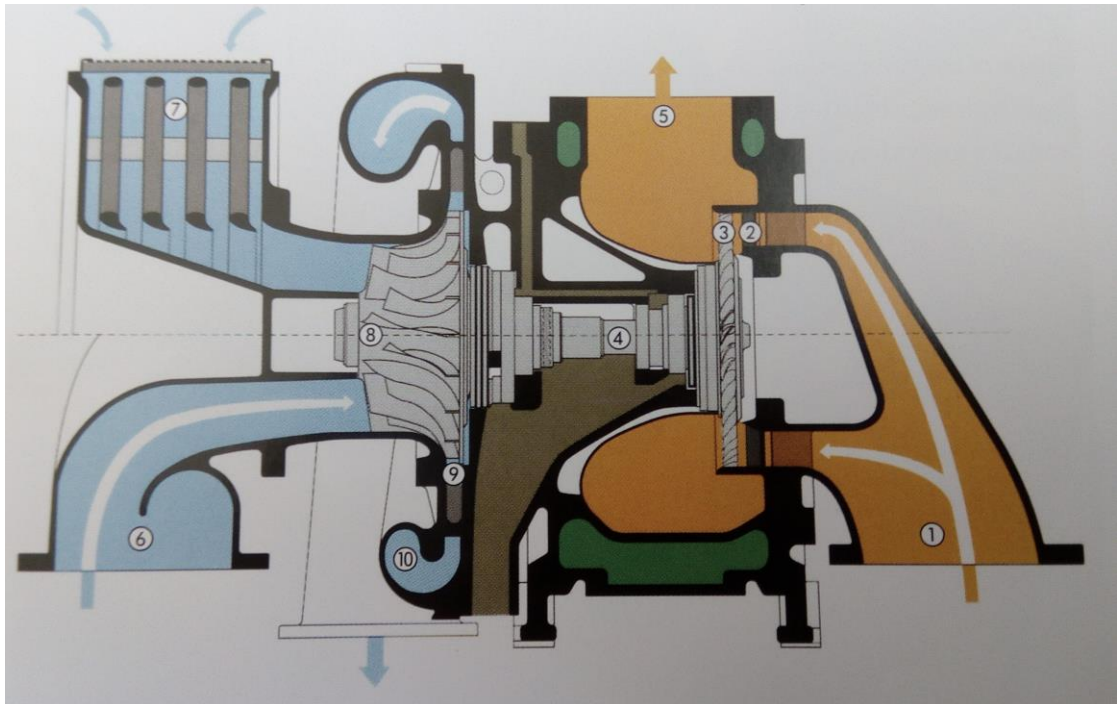
5 TURBOAHTAMINEN

Dieselmoottorit ovat pääasiallisesti kaikki nykyään ahdettuja, jolloin tehoa saadaan enemmän ilman moottorin koon kasvatusta. Joissakin pienemmissä koneissa ahtamista ei käytetä, mutta tehontarvekin näissä on huomattavasti pienempi. Turboahtimet pyörivät joko palotapahtumassa syntyvällä pakokaasulla tai mekaanisesti kampiakselin supercharger välityksellä. Pakokaasuahtimia käytetään yleisesti laivoilla (Kuiken 2012a, 318—337).

Ahtamisen hyöty tulee siitä, kun ilmaa voidaan puristaa kasaan. Puristettua ilmaa voidaan syöttää enemmän palotilaan. Vapaasti hengittävässä koneessa ilmaa menee koneeseen, kun imuventtiili on auki ja mäntä kulkee alaspäin sylinteriputkessa, jolloin syntynyt alipaine imee ilmaa koneeseen. Kun ilma ah-

detaan koneeseen, voidaan sinne syöttää myös enemmän polttoainetta. Polttoainetta lisäämällä saadaan myös enemmän tehoa, mikä mahdollistaa koneen koon pysymisen suhteessa pienempänä kuin vapaasti hengittävässä koneessa (Kuiken 2012a, 318—337).

Tehon lisäyksen lisäksi polttoainetta kuluu vähemmän tehoon nähden ja päästöjä syntyy vähemmän, koska palotila saadaan täytettyä ja huuhdeltua paremmin ilmalla, eikä tule vajaatäyttöä missään vaiheessa. Ahdin koostuu kompressorista, joka ahtaa ilmaa koneeseen ja sitä pyörittää samalla akselilla oleva turbiini, joka pyörii koneen pakokaasuilla. Ilma imetään filtlerin ja äänenvaimentimen kautta kompressorille. Akseli pyörii öljyvoideltujen liukulaakerien päällä (kuva 8) (Kuiken 2012a, 318—337).

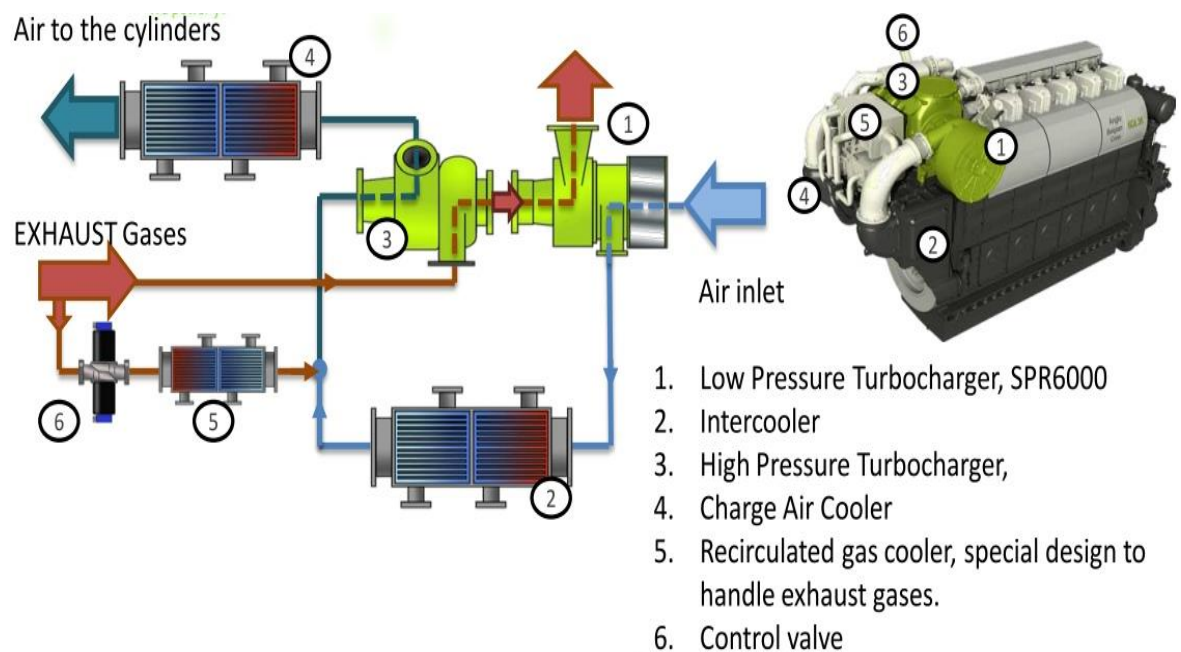


Kuva 8. Turboahtaminen (Kuiken 2012a)

1. Pakokaasu ahtimelle
2. Turbiinipuolen siivikkö
3. Turbiini
4. Akseli
5. Pakokaasu ulos
6. Ilma kompressorille
7. Äänenvaimennin ilman tulopuolella
8. Kompressori
9. Hajottaja
10. Likakotelo

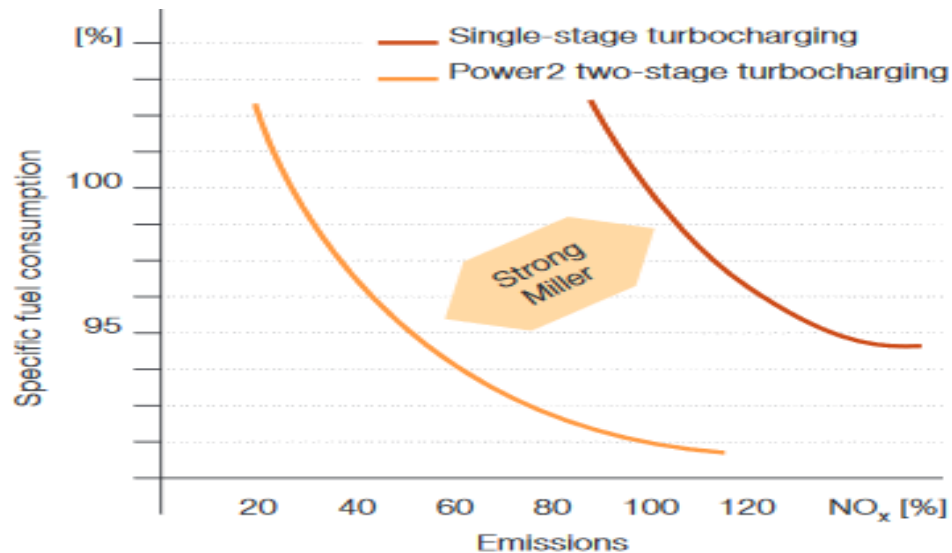
5.1 Kaksoisturbohtaminen

Perinteisen yksitoimisen turboahtimen sijaan kaksoisturboahdin koostuu matalapaine- ja korkeapaineahtimesta. Matalapaineahdin imee ilmaa ja ahtaa sen korkeapaineahtimelle, joka nostaa painetta entisestään ja ahtaa ilman sitten koneeseen. Pakokaasu tulee ensin korkeapaineahtimelle ja siitä matalapaineahtimelle. Jokaisen vaiheen jälkeen, kun ilmaa puristetaan, se jäähdytetään. Jäähdyttäminen mahdollistaa toisen ahtimen koon pienentämisen (kuva 9) (ABB Power2).



Kuva 9. Esimerkki turboahdinjärjestelmästä (Kaksoisturbohtamisen periaate)

ABB:n kaksoisturboahdimilla, joita kutsutaan Power2-nimellä, on päästy 12 baarin paineeseen ja yli 75% hyötysuhteeseen. Suurella Miller-ajoituksella ja muuttuvalla venttiilin ajoituksella näillä turboilla voidaan alentaa typpioksidipäästöjä jopa 80—90% ja pitää moottorin teho lisäämättä polttoainenkulutusta (ABB Power2).



Kuva 10. Miller ajoituksen vaikutus kaksoisturboahdinten kanssa (ABB Power2)

5.2 Välijäähdytys

Välijäähdytin on nestejäähdytteinen ja sitä jäähdytetään koneen LT- linjan (Low Temperature) vedellä, jonka lämpötila on noin 30 °C (kuva 11). Ilma lämpenee puristettaessa kasaan ja ahtimelta lähtiessä ilman lämpötila vaihtelee 100—160 °C välillä riippuen koneen kuormasta. Korkean ahtoilman lämpötilan takia ilmaa jäähdytetään välijäähdyttimellä ennen sylinteriin menoa. Hyvän palotapahtuman saavuttamiseksi ilman tulisi olla mahdollisimman viileää 40—45 °C välillä. Mitä kylmempi ilma, sitä enemmän sitä saadaan syötettyä sylinteriin. Liian kylmä ilma alkaa keräämään kosteutta, mikä taas aiheuttaa ylimääräistä kulumista koneeseen (Kuiken 2012a, 281—289).



Kuva 11. Välijäähdytin Wärtsilä 6L46F CR (Pekka Pohtila 2015)

6 NOKKA-AKSELI JA VENTTIILIKONEISTO

Sylinterin palotapahtuma vaatii ilman ja polttoaineen seoksen. Mäntä puristaa seoksen kasaan, jolloin se räjähtää paineen kasvaessa. Saadakseen ilman sylinteriin ja pakokaasun ulos koko kierrosalueella tehokkaasti ja oikeaan aikaan moottori vaatii nokka-akselin ja venttiilikoneiston.

Nokka-akseli pyörii kampiakselin kautta joko ketjulla tai hammasrattailla tahdissa kampiakselin kanssa. Kampiakseli pyörii kaksi kierrosta, kun nokka-akseli on pyörähtänyt kerran. Nokka-akseli ohjaa venttiilejä mekaanisesti koko ajan aukaisten ja sulkien ne (kuva 12). Tulevaisuudessa voi laivoissa olla jo nelitahtikoneita missä ei ole enää nokka-akseleita vaan pneumaattisesti ohjattuja venttiilejä (Kuiken 2012a, 368—398).

Akselit on valettu, karkaistu ja hiottu muotoon ja mittaan moottorivalmistajien haluamalla tavalla. Akselit voivat olla yhtenäisiä tai osissa, jolloin jokaiselle sylinterille on oma nokka-akseli. Oma nokka-akseli sylinteriä kohti on käytössä isoissa koneissa, jolloin voidaan vaihtaa yksittäisiä akseleita koko akselin sijaan. Akseli liikuttaa pyöriessään työntövarsia ylös ja alas, mikä taas liikuttaa venttiilinseuraajia, jotka painavat venttiilejä alas ja jouset nostavat venttiilit ylös (Kuiken 2012a, 368—398).

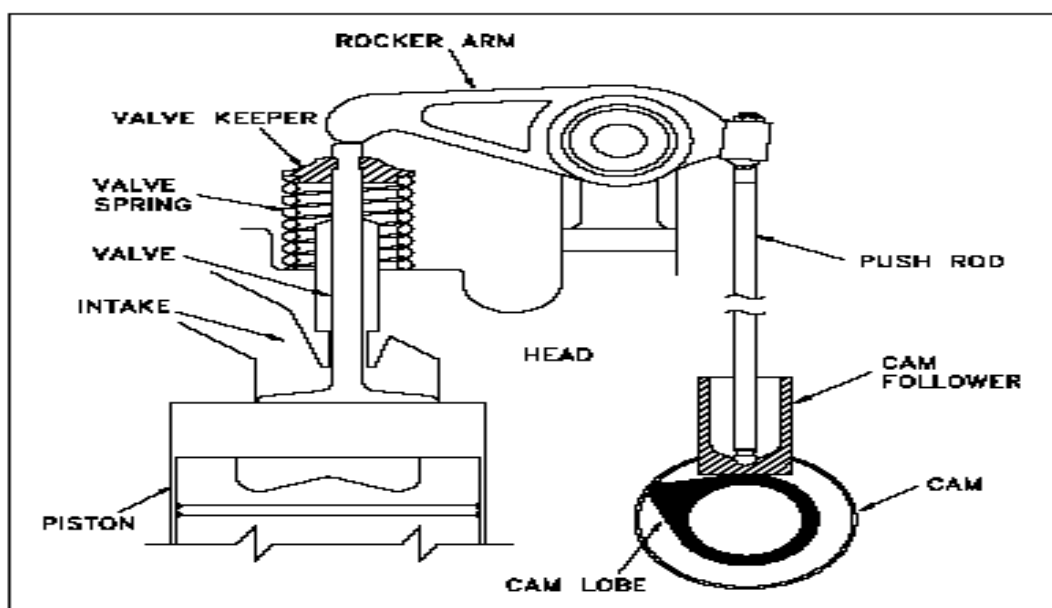


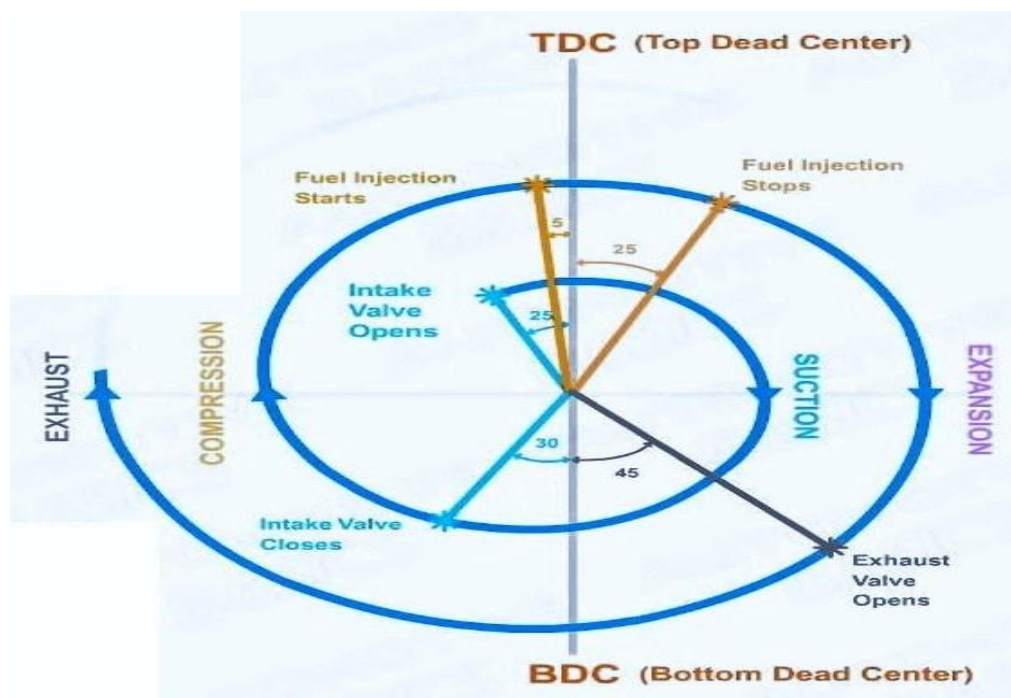
Figure 10 Diesel Engine Valve Train

Kuva 12. Toimintaperiaate venttiilikoneistossa (Venttiilikoneisto)

6.1 Ajoitus

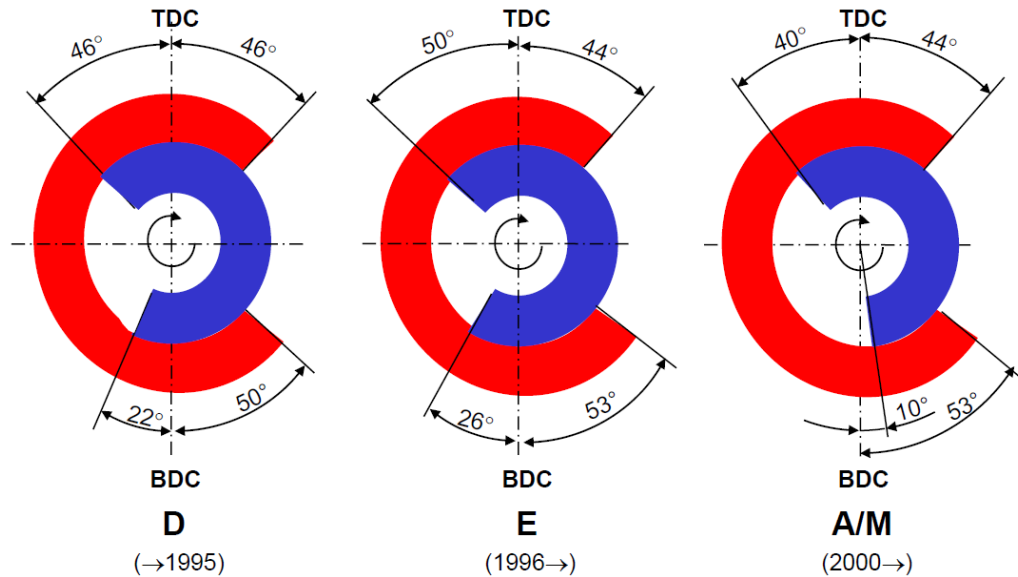
Nelitahtikoneen ajoitus on tärkeimpiä asioita, jotta kone lähtee käyntiin ja toimii ilman ylimääräisiä tärinöitä (kuva 13). Ajoituksella koneesta saadaan paras hyötysuhde irti. Pahimmassa tapauksessa väärä ajoitus rikkoo koneen tai sen osia. Jos kone ei polta polttoainetta kunnolla, kone savuttaa ja päästöt nousevat ja kone että sen osat karstoittuvat.

Koneenvalmistajat säätävät koneen tehtaalla, mutta laivan päällä pitää tarkistaa huoltojen jälkeen ajoitus. Jos esimerkiksi nokka-akseli vaihdetaan, sen oikea asento tarkistetaan. Jos polttoainepumppu vaihdetaan tai huolletaan, sen ajoitus tarkistetaan, jotta polttoaine saadaan ruiskutettua oikeaan aikaan sylinteriin. Mikäli polttoaine tai polttoainelaatu vaihtuu, ajoitusta voidaan joutua säätämään.



Kuva 13. Nelitahti dieselmoottorin ajoitus (Nelitahtikoneen ajoitus)

6.2 Miller ajoitus



Kuva 14. Ajoituksen kehitys ja viimeisenä Millerin ajoitus (Wärtsilä)

Typpioksidipäästöjen synty alkaa 1500°C lämpötiloissa ja mitä viileämpänä koneen palotapahtuma voidaan pitää, sitä vähemmän syntyy typenoksideja ja myös koneen osien lämpörasitus on pienempi. (Imperato 2016). Millerin ajoituksessa imuventtiili suljetaan noin 20% aikaisemmin kuin normaalisti imutahdin aikana (kuva14). Ajoitus saa aikaan sen, että ilma laajenee sylinterissä ja jäähtyy, jolloin sylinterissä tapahtuva kokoonpuristus tapahtuu noin 15°C alemmassa lämpötilassa. Alempi lämpötila pudottaa lopullista puristuslämpötilaa 50°C astetta ja vähentää palamistapahtumasta syntyvää lämpöä ja typenoksidien syntyä jopa 30% (Kuiken 2012b, 168).

Käytännössä kaikki koneenvalmistajat käyttävät Millerin ajoitusta joissain määrin. Myös imutahdin pidentämistä käytetään, mutta imutapahtuman muuttaminen aiheuttaa tehon alenemista, jollei sitä voida kompensoida nykyaikaisilla korkeapaineturboilla tai kaksoisturboahdimilla. Turbon täytyy pystyä ahtamaan koneeseen sama määrä ilmaa, jonka se menettää lyhyemmän imutahdin vuoksi ja korkeammalla paineella. Paras tulos saataisiin noin 10 baarin ahtopaineeseen pystyvällä kaksoisturboahdimella ja säädettävällä venttiilin ajoituksella, jolloin voitaisiin säätää imutahdin sulkeutumista ja avautumista optimaaliseksi koko moottorin kierrosalueelle.

Laitteisto vaatisi paljon päivitystä korkealla hinnalla ja sillä saadaan lähinnä typpioksidipäästöjä vähennettyä. Päästöjä voidaan tiputtaa 90—95 % myös yksinkertaisemmalla katalysaattorilla (SCR, Selective catalytic converter). SCR:n asennus ja käyttö on kallista, mutta toimivaa (Imperato 2016).

7 APUKONEET JA KONEISTOT

Laiva on itsenäinen kompleksi. Laivalla on laitteita laidasta laitaan, jotta voidaan tuottaa sähköä, vettä, lämpöä ja pitää esimerkiksi elintarvikkeet kylmänä.

7.1 Apukoneet

Apukoneet ovat nelitahtikoneita, mutta huomattavasti pienempiä kuin itse pääkoneet ja niitä on yleisesti kahdesta neljään riippuen niiden koosta ja laivan tehontarpeesta. Apukoneiden tehtävä on tuottaa sähköä laivalle satamassa. Jos laivalla ei ole akseligenaattoria niin apukoneet tuottavat sähköä jatkuvasti myös merellä. Mikäli laivalla on akseligenaattori, apukoneita käytetään myös tilanteissa, joissa voi olla vaara blackoutille. Esimerkiksi myrskyssä, jos potkuri lyö tyhjää ja kierrokset nousevat nopeasti, jolloin taajuus muuttuu liian nopeasti akseligenaattorilla, apukoneet otetaan käyttöön ahtaissa väylissä ja paikoissa, missä ohjattavuus on säilytettävä koko ajan. Apukoneet ovat siis pääasiassa varaenergiantuottajia, vaikka joissakin laivoissa tuotetaan näillä kaikki sähkö ja pääkoneet ajavat vain potkuria.

7.2 Vaihdelaatikko

Pääkoneiden perässä on yleisesti vaihdelaatikko, jotta saadaan koneen kierrokset pudotettua potkuriakselille ja sitä kautta potkurille sopivaksi. Akseligenaattorille kierroksia pitää olla enemmän esimerkiksi 1500rpm, jos koneen kierrokset ovat 600rpm ja potkurilla 130rpm. Vaihteiston ja koneen välissä voidaan käyttää kytkintä, jolloin kone voidaan käynnistää ilman, että potkuri lähtee heti pyörimään ja kytkeä, kun halutaan lähteä liikkeelle. Mikäli on kaksi pääkonetta, voidaan laivaa ajaa vain yhdellä koneella, jos toinen on epä-

kunnossa tai ei ole tarvetta ajaa molemmilla koneilla. Mikäli kyseessä on kaksiopotkurinen laiva, niin toinen pääkoneista pyörii päinvastaiseen suuntaan kuin toinen parantaen propulsiota (Kuiken 2012b, 58—93).

7.3 Pumput ja puhaltimet

Laivalla käytetään pumppuja polttoaineen, jäähdytysveden, ballastiveden ynnä muun nesteen siirtoon. Puhaltimia käytetään jäähdyttämään asuintiloja ja tuomaan pääkoneille ja apukoneille tarpeeksi ilmaa tehokasta palamista-
pahtumaa varten. Pumput ja puhaltimet voivat ovat suuria ja niitä voi olla monta kappaletta. Näiden säätö on aika karkea ja paljon tarpeetonta energiaa menee hukkaan, kun esimerkiksi kaksi pumppua on päällä, vaikka ei tarvitsisi kuin puolitoista pumppua.

Asentamalla pumppuihin taajuusmuuttajat voidaan säätää niiden kierrosnopeutta ja energiankulutusta optimaalisemmaksi. Pumpun energiankulutus voi pudota jopa 20—30%. Jos asennetaan vaikka merivesipumppuihin taajuusmuuttaja ja pumppuja on kolme teholta 100 kW kappaletta, voidaan energiaa säästää riippuen tehon tarpeesta noin 75kWh. ABB arvioi vuodesta noin 60% ajan olevan käytössä 60—70% pumppujen kapasiteetista, kun lopun aikaa pumput ovat täydellä kapasiteetilla, jolloin taajuusmuuttajalla ei ole vaikutusta. Tästä voidaan laskea arvio säästöistä vuodessa yhdellä pumpulla ajettaessa.

Taulukko 1. Pumpun säästö vuodessa.

	Yhden pumpun säästö			
Tunnit vuodessa (H)	8760	5256	5256	Säästö vuodessa kWh
Teho (kW)	100	100	65	
Kulutus (kWh)	876000	525600	341640	204984

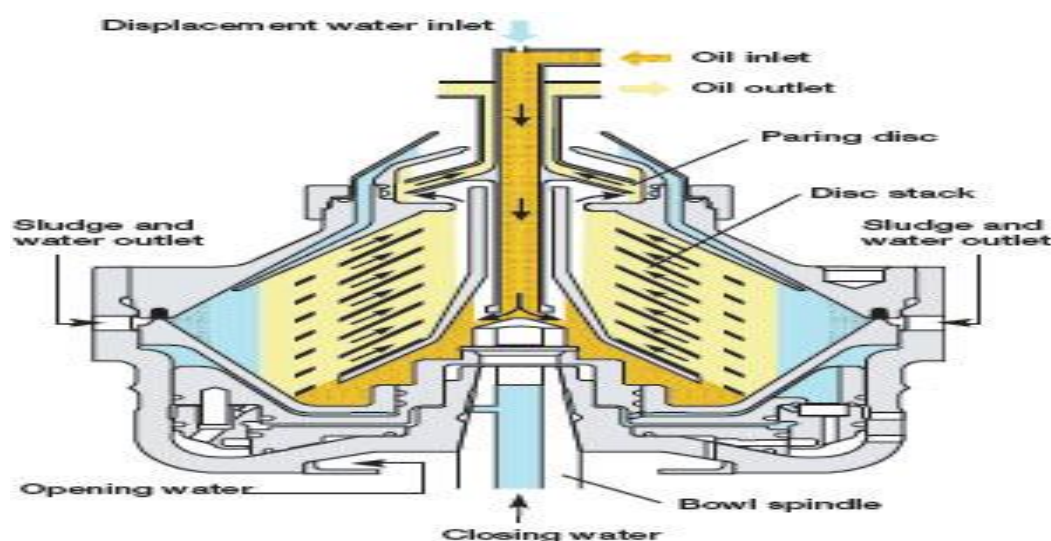
Vuodessa on noin 205 megawattituntia, joka tekee polttoaineenominaiskulutuksella (SFOC) 168g/kWh polttoainesäästönä noin 34 tonnia polttoainetta ja raskaan polttoöljyn tonni hinnan ollessa 670 euroa (Bunkerworld.com 25.4.2017) se tekee noin 23 000€ säästön vuodessa yhdellä pumpulla. Mikäli taajuusmuuttajia asennettaisiin puhaltimiin ja useampiin pumppuihin, niin voitaisiin olla 100 000€ säästöissä vuodessa ja takaisinmaksuaika olisi noin vuosi.

7.4 Separaattorit

Polttoaineiden ja voiteluöljyjen puhdistamiseksi ja puhtaana pitämiseksi mahdollisimman pitkään tarvitaan separaattoreita. Ilman separaattoreita moottoreiden elinikä lyhenisi huomattavasti tai voiteluaineet jouduttaisiin vaihtamaan paljon useammin. Polttoaineissa, kuten HFO, on aina likaa ja ilman puhdistusta ruiskutuslaitteistossa alkaisi esiintyä ongelmia.

Separaattorin toiminta perustuu keskipakovoimaan, jossa nestettä pyöritetään suurella kierrosnopeudella (3000—10000rpm), jolloin tiheuserot aiheuttavat aineiden erottumisen toisistaan. Raskaimmat aineet kuten lika ja vesi kertyvät kuulun ulkokehälle, josta ne poistetaan automaattisesti tyhjennyksillä, joko veden kanssa tai ilman, riippuen separaattorista. Puhdas neste kerääntyy keskelle, josta sitä pumpataan tankkiin. Kuulussa oleva levypakka parantaa separointia lisäämällä erottumispinta-alaa (kuva 15).

Uudet separaattorit pystyvät puhdistamaan nesteitä 15 °C asteessa joiden tiheys on 1010kg/m³, kun vanhoilla pystyi puhdistamaan vain 991kg/m³ asti. Vanhoihin separaattoreihin verrattuna myös automaatiikka on kehittynyt ja tyhjennyksissä ei mene hukkaan käytännössä ollenkaan öljyä, vaan kaikki saadaan puhdistettua ja eroteltua. Polttoaineiden laadun huonontuminen ja raskaan polttoöljyn suuret tiheydet ovat myös osasy syy separaattoreiden kehittämiseen (Kuiken 2012b, 200—218; MAN polttoaineet ja voiteluaineet 2014).



Kuva 15. Alfa Laval separaattori (Separaattorin poikkileikkaus ja toiminta)

8 PROPULSIO

Laivan kuljettamiseen käytetään yleisesti potkuria tai potkureita akselin välityksellä vaihdelaatikolta ja siten pääkoneilta, joiden teho on yli 2000Kw. On myös muita propulsio tyyppejä kuten vesijetti, jota käytetään erikoisaluksissa. Jokainen alus tarvitsee erilaisen potkurin riippuen aluksen rungon muodosta, nopeudesta ja tehon määrästä (Kuiken 2012b, 12).

Potkurin lavat voivat olla joko säädettävät (Controllable Pitch Propeller eli CPP) tai kiinteät (Fixed Pitch Propeller eli FPP) riippuen paljon laivan pääkoneista, aluksen koosta ja reitistä. Yleisesti on käytetty kaksitahtipääkoneissa kiinteäsiipisiä potkureita ja nelitahtipääkoneissa säädettäviä potkureita, mutta pienemmissä koneissa, esimerkiksi jahdeilla, voidaan käyttää molempia potkureita, koska niissä on yleensä vaihdelaatikko suunnanvaihtajalla (Kuiken 2012b, 492—501).

Kiinteäsiipisen potkurin nopeus muuttuu koneen kierroksia muuttamalla, mikä käytännössä estää akseligeneraattorin käytön, kun jännite ei pysy tasaisena. Säädettävässä potkurissa aluksen nopeutta voidaan muuttaa lapakulmaa säätämällä ja koneen kierrokset voivat pysyä samana, jolloin voidaan käyttää akseligeneraattoria (Van Dokkum 2013, 264—269). Myös aluksen pysäyttäminen ja peruuttaminen on nopeampaa säädettävällä potkurilla, kun taas kiinteäsiipisellä potkurilla joudutaan moottori sammuttamaan ja käynnistämään toiseen suuntaan.

8.1 Potkuri

Potkurin tehokkuuteen vaikuttavat aluksen vedenalainen muoto, potkurille tulevan tehon määrä, lapojen lukumäärä, potkurin kierrosnopeus, halkaisija, lavan pinta-ala ja kuinka hieno pinta siinä on sekä aluksen nopeus. Potkurin suunnittelussa pitää ottaa huomioon kavitaatio ja värähtely, jotta potkurin ikä olisi mahdollisimman pitkä ja sen huoltokustannukset olisivat vähäiset.

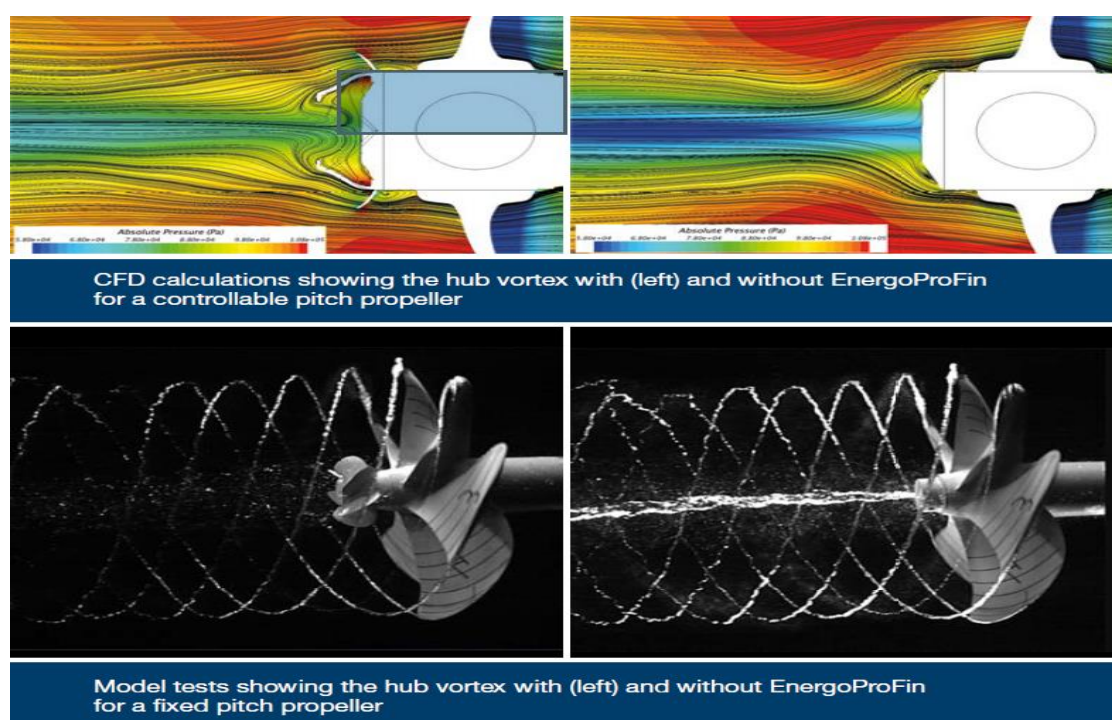
Vähäinen lapojen määrä lisää potkurin tehokkuutta, mutta nopeuden ja aluksen koon kasvaessa on lapojen määrää lisättävä kestävyuden ja värähtelyn takia. Isoissa aluksissa on yleensä neljästä kuuteen lapaa, kun pienissä voi

olla kaksi tai kolme lapaa. Matusiak (1996) sanoo ”Potkurin nousu on pituus-suuntainen etäisyys, jonka potkuri siirtyisi yhden kierroksen aikana kiinteässä aineessa, kuten esimerkiksi savessa.”

Potkurin parhaan tehokkuuden määrittämiseksi tulisi löytää paras nousun ja halkaisijan suhde. Riippuen onko potkuri suunniteltu matalalle kierrokselle vai korkeammalle kierrokselle, tulee suhdetta lisätä tai vähentää tehokkuuden parantamiseksi. Yleisesti potkuri on otettu suurimmalla mahdollisella halkaisijalla, jonka aluksen muoto ja syväys mahdollistavat, jolloin saadaan paras tehokkuus. Lisäksi siihen on laskettu optimaalinen nousun suhde (Kuiken 2012b, 494—519).

8.2 Numeerinen virtausdynamikka CFD ja potkurimalli EnergoProFin

Nykyisin potkureita suunniteltaessa ne pystytään testaamaan ja mallintamaan tietokoneilla (kuva 16). Tietokoneet mahdollistavat nopean ja tarkan hienosäädön ennen kuin potkuria on edes tehty. CFD eli numeerinen virtausdynamikka soveltuu monelle eri alustyyppille, jopa kalastaja-aluksille. Simulointia varten CFD tarvitsee tarkkaan lasketun aluksen vastuksen, potkurin avovesitehokkuuden ja propulsiovoiman tiedot (Wärtsilä CFD 2016.)



Kuva 16. CFD mallinnus jossa vasemmalla EnergoProFin ja oikealla normaali potkuri (Wärtsilä 2016)

EnergoproFin on Wärtsilän CFD:llä suunnittelema uusi potkuri, jossa on lisäksi potkurissa olevassa navassa (kuva 17). Lisäsiipien tarkoitus on vähentää hukkaan menevää pyörrettä, jolloin saadaan lisää työntövoimaa. Siivet myös vähentävät värinää, kavitaatiota ja paineiskuja. Lisäsiivet voidaan asentaa kiinteäsiipiseen tai säätösiipipotkuriin jopa vedessä, jos alusta voidaan trimmata tarpeeksi. Vanhaa potkuria ei tarvitse vaihtaa, vaan lisäsiivet asennetaan vanhaan potkuriin jatkoksi. Takaisinmaksuaika investoinnille on alle vuosi ja keskimäärin tällä voidaan säästää polttoainetta vuodessa kahdesta viiteen prosenttia (Wärtsilä EnergoproFin 2016).



Kuva 17. Wärtsilä EnergoproFin asennettuna vanhaan potkuriin (Wärtsilä 2016)

8.3 Azipod

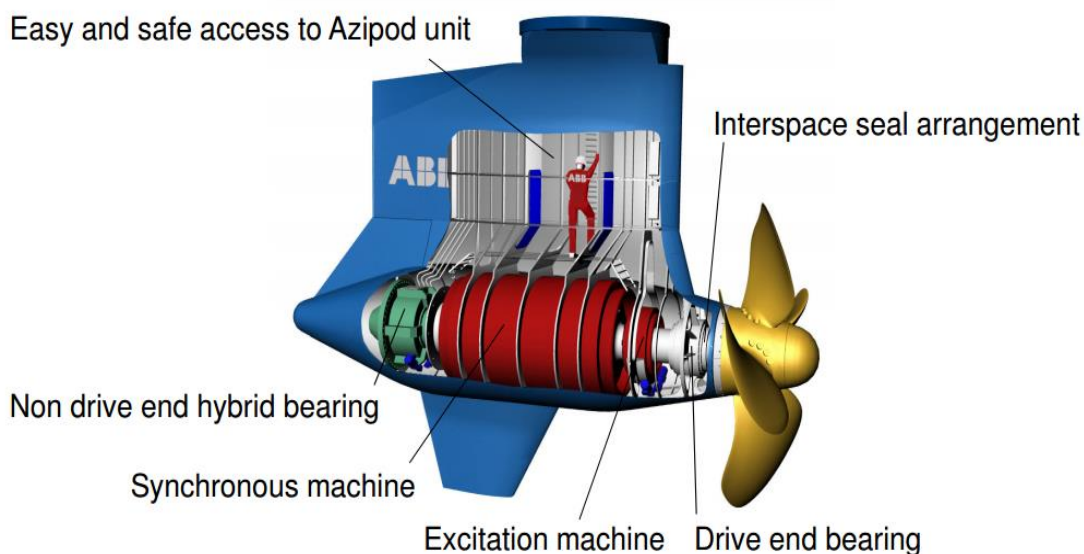
Azipod on sähkömoottorilla toimiva potkuri joka ei tarvitse peräsintä tai potkuriakselia koneelta. Azipod pyörii 360 astetta ja pystyy ohjaamaan alusta mihin suuntaan tahansa. Azipodin sähkömoottori sijaitsee veden alla olevassa navassa, joka tekee siitä hiljaisen ja vähemmän värinää aiheuttavan verrattuna perinteiseen potkuri-akseli järjestelmään. Azipodia voidaan kuormittaa portaattomasti ilman vaihdelaatikkoa ja se voidaan huoltaa vedessä, koska kulku on aluksen sisältä (kuva18).

Konehuoneessa tarvitsee olla generaattorit pääkoneilla tai jälkiasennettuna, mutta vaihdelaatikot, potkuriakseli ja peräsinkoneikko voidaan poistaa, jolloin säästetään tilaa ja painoa. Tilaa ja painoa säästämällä saadaan vähemmän häviöitä, kun ei tarvita mekaanista voimansiirtoa ja säästetään jopa 20% polttoaineissa perinteiseen järjestelmään verrattuna (ABB Azipod 2013).

Advanced condition monitoring

Steering torque reduced over 20 %

Easy and safe access to Azipod unit



© ABB Group
July 3, 2012 | Slide 7

ABB

Kuva 18. Poikkileikkaus azipodista (ABB Azipod 2013)

8.4 CRP Azipod

Azipod voidaan yhdistää potkuriakselilla olevan potkurin kaveriksi peräsimen tilalle, jos on tarpeeksi sähkötehoa mekaanisen potkurin pyörittämisen lisäksi. Tällaisessa CRP-järjestelmässä Azipod pyörii vastapäivään kuin normi potkuri ja se käyttää ensimmäisen potkurin pyörre-energiaa hyväksi (kuva19). Molempien potkurien tehoja voidaan säätää halutuiksi ja ohjailtavuus paranee huomattavasti perinteiseen.

Azipodin potkuri on pienempi, lapojen määrä on eri ja pyörimisnopeus suurempi, jotta ei tulisi värinää ja kavitaatiota ensimmäiselle potkurille. Kääntösäde on 100 tai 360 astetta. Säästöt ovat samaa luokkaa kuin pelkällä azipodilla, mutta tehontarvetta on vähemmän. CRP soveltuu kaikille alustyypeille (ABB CRP 2001).

Vuonna 2004 CRP-järjestelmä asennettiin 225 metriä pitkälle ROPAX alukselle, jossa oli ennestään säätösiipipotkuri ja kaksi Wärtsilän 12V46C pääkoneita. Järjestelmällä saavutettiin yli 13% polttoainesäästöt verrattuna perinteiseen järjestelmään.

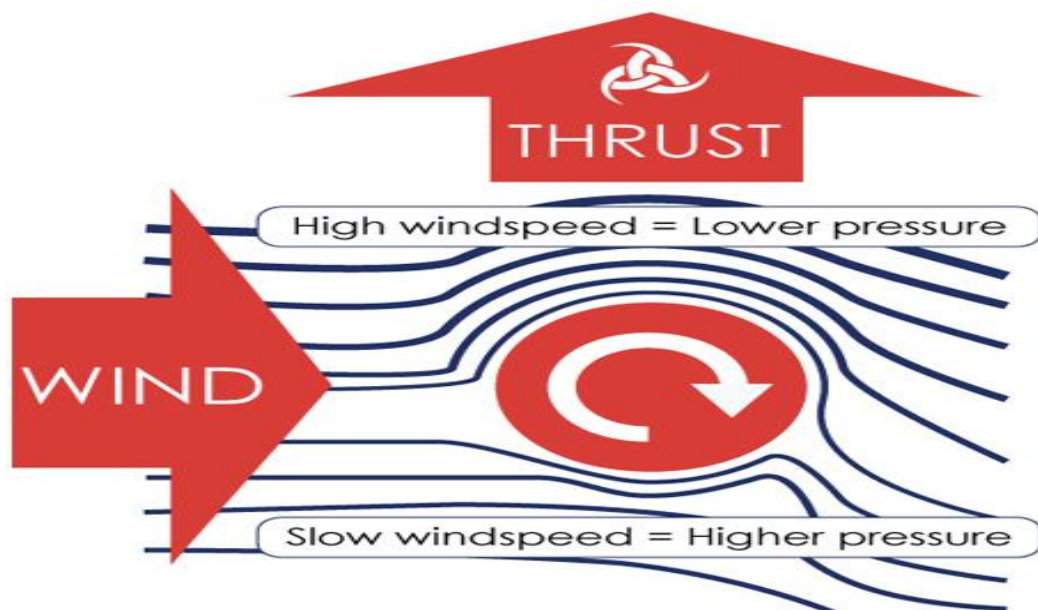


Kuva 19. ABB Azipod CRP (ABB CRP propulsio 2001)

8.5 Roottoripurje

Roottoripurje on tuulen voimaa käyttävä sylinterimäinen putki, joka liikuttaa alusta eteenpäin Magnus ilmiön (kuva 20.) avulla. Kun ilma kulkee putken toiselta puolelta nopeammin kuin toiselta, syntyy paine-ero, joka aiheuttaa nostetta kuten lentokoneen siivissä, mutta laivoilla se liikuttaa alusta eteenpäin. Putkissa olevilla moottoreilla tätä voimaa voidaan kasvattaa pyörittämällä putkea oikeaan suuntaan riippuen tuulen suunnasta. Tuulen puhaltaessa suoraan alusta vasten roottoripurjeesta ei ole hyötyä.

Alukseen asennetaan tuulimittari ja GPS anturi, joista järjestelmä saa tuulen suunnan ja aluksen kulkusuunnan ja ohjaa niiden avulla roottoreita. Käyttäjän ei tarvitse kuin laittaa järjestelmä päälle, niin se hoitaa roottoripurjeen pyörittämisen ja suunnan, tai sammuttaa kokonaan, jos siitä ei ole hyötyä. Pääkoneiden tehoa voidaan pienentää aluksen silti säilyttäen saman kulkunopeuden, mutta vähemmällä polttoainekulutuksella.



Kuva 20. Magnus ilmiö (Norsepower.com)

Roottoripurjeiden sopiva lukumäärä riippuu aluksesta, sen nopeudesta ja reitistä, mutta Ro-Ro-aluksella määrä voisi olla kolmesta neljään, jos kannelle pystyy asentamaan purjeita (kuva 21). Roottoreita saa kolmea eri korkeutta: 18, 24 ja 30 metriä. Norsepower laskee sopivan määrän ja korkeuden, sekä hoitaa asennuksen ja huollot. Norsepower-järjestelmällä voidaan päästä 5-

20% polttoainesäästöihin. Boren Estraden aluksella on päästy kuuden prosentin polttoainesäästöihin vuodessa (Norsepower).



Kuva 21. Roottoripurjeet Boren Ro-Ro alus Estradenilla (Norsepower.com)

9 LÄMMITYS JA LÄMMÖNTALTEENOTTO

Laivalla tarvitaan lämmitystä ensisijaisesti työntekijöitä varten, jotta heillä olisi lämmin huoneilma ja vesi. Talvella lämmitystä tarvitaan esimerkiksi lastitilojen rampeilla jään sulattamiseen. Konepuolella lämmitystä tarvitaan polttoaineiden lämmitykseen varastotankeissa, separoinnissa, veden tuottamiseen evaporaattoreilla, koneiden lämmitykseen ja muihin asioihin.

Lämmöntalteenottoon käytetään pakokaasukattiloita. Kattiloihin johdetaan pääkoneilta ja apukoneilta pakokaasut, joiden lämmöllä tuotetaan höyryä tai lämmitetään öljyä riippuen järjestelmästä. Merellä ajossa lämpöä on yleensä riittävästi, mutta satamissa joudutaan yleisesti käyttämään apukattiloita, joissa on oma polttoainepoltin lämmöntuottoon. Tämä siksi, koska satamissa pääkoneet ovat sammuksissa ja apukoneissa ei riitä lämmöntuotto tai niiden pakokaasun lämmöntalteenottoa ei ole hyödynnetty.

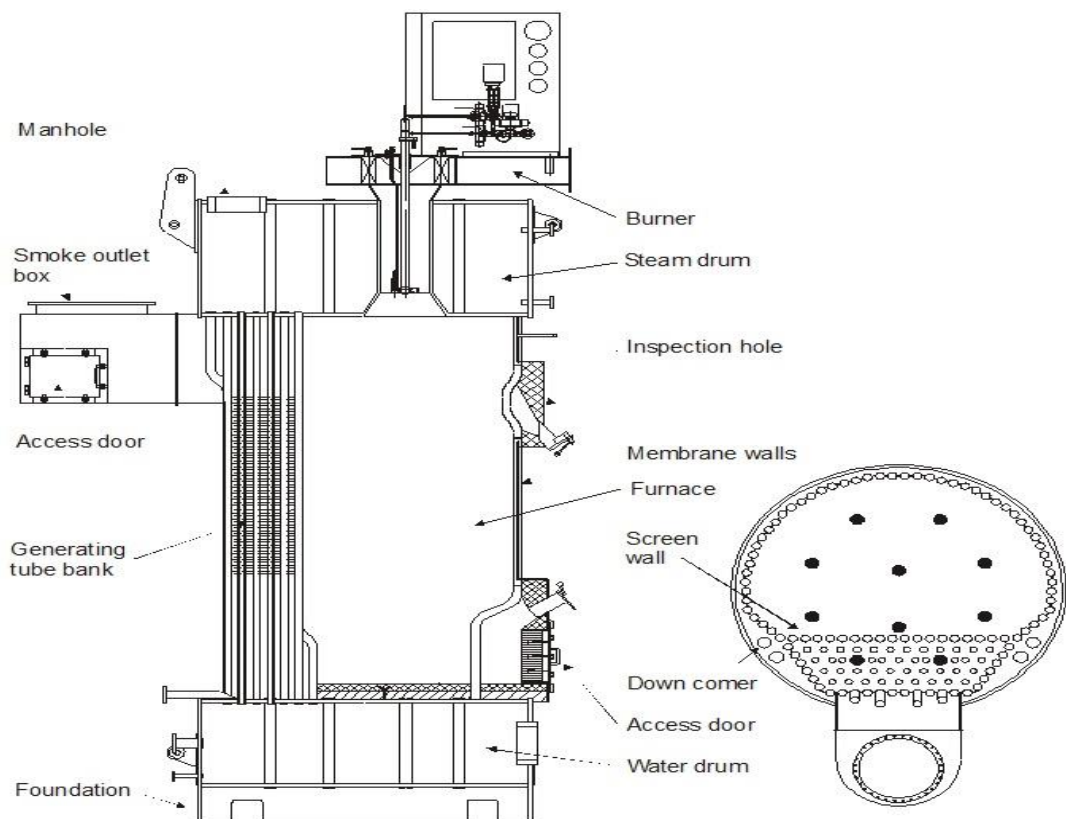
Ilman lämmöntalteenottoa kaikki pakokaasut ja niistä saatava energia menisi hukkaan ja lämpöä pitäisi tuottaa jatkuvasti öljypolttimella. Moottorien hyötysuhteen parantaminen pakokaasukattiloilla voi olla jopa 14% (Alfa Laval 2017).

10 KATTILAT JA POLTTIMET

Kattiloita on laidasta laitaan, mutta laivoilla käytetään yleisesti pystymallisia vesiputkikattiloita (kuva 22). Nykypäivänä voidaan polttaa samalla järjestelmällä eri polttoaineita kuten diesel, raskas polttoöljy, biodiesel ja nesteytetty maakaasu. Nesteytetty maakaasu tarvitsee vain hiukan enemmän turvalaitteita.

Pakokaasukattilat ovat käytännössä samanlaisia, mutta niissä ei tarvita poltinta lämmitykseen, vaan kattilat käyttävät pakokaasun lämpöenergiaa hyödyksi. Kattilaan syötetään puhdasta vettä, joka kuumentuessaan höyrystyy. Höyryä voidaan käyttää lämmitykseen.

Kattilan paine vaihtelee 7—24 baarin välillä. Paineen määrä riippuu laivasta ja höyryn käyttötarpeesta. Kattiloita voidaan verrata moottoreihin siinä mielessä, että myös niiden poltto tapahtuman tulee olla mahdollisimman puhdas ja tehokas. Puhtauteen ja tehokkuuteen on panostettu. Kattilan ja polttimen koot ovat pienentyneet säästäten tilaa ja painoa (Alfa Laval 2017).



Kuva 22. Yleinen rakennekuva laivan apukattilasta (Apukattila)

11 AUTOMAATIO- JA SÄHKÖJÄRJESTELMÄT

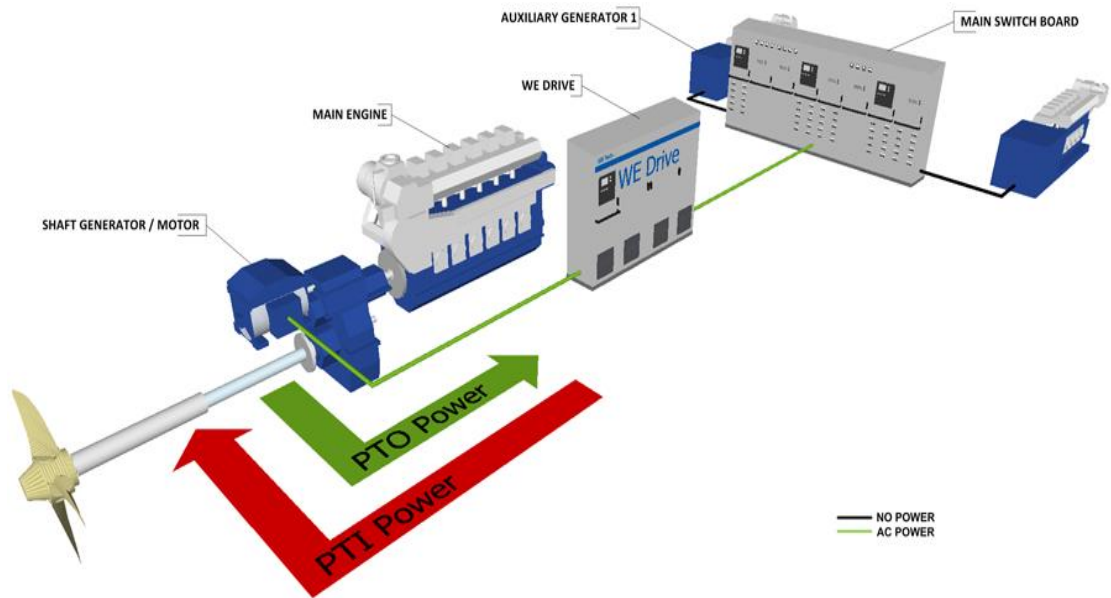
Laivan koneistojen parhaan tehon ja toiminnan ylläpitämiseksi huoltojen lisäksi on hyvä olla automaatiojärjestelmä. Järjestelmä keskustelee käytännössä eri laitteiden kanssa ja jakaa tämän tiedon käyttäjille. Järjestelmä seuraa ja säätää parametrien mukaisesti arvot kohdilleen eri järjestelmissä esimerkiksi seuraamalla jäähdytysveden lämpötilaa.

Paremmilla järjestelmillä pystytään säätämään ja seuraamaan tarkemmin esimerkiksi sylinterien paineita tai laakerien kulumista ja lämpötiloja. Tällöin voidaan pitää koneen käynti optimaalisena jatkuvasti ja ajoittaa huollot tarkemmin.

Järjestelmään, jolla voidaan mitata ja säätää konetta, voidaan asentaa myös moottorin tuottamia päästöjä seuraava järjestelmä. Järjestelmä saa arvot koneen käyntiarvoista, sylinterin palotapahtumasta sen sijaan, että ne mitataan pakokaasuista. Järjestelmä vaatii kuitenkin tarkat tiedot koneen kuormasta, kulutuksesta, kosteudesta ja polttoaineen laadusta millä konetta milloinkin ajetaan. Järjestelmä hoitaa tiedot saatuaan säädön ja kertoo päästömäärät. (Kongsberg 2016).

12 AKSELIGENERAATTORI

Akseligeneraattoreita käytetään nykyisin hyvin paljon laivojen sähköntuotannossa, koska se vähentää apukoneiden käyttöä huomattavasti. Akseligeneraattori vähentää myös apukoneiden tuntimääriä ja huoltoa ja parantaa laivan energiatehokkuutta. Akseligeneraattori toimii pääkoneiden vaihdelaatikon välityksellä tai jopa suoraan potkuriakselilta (kuva 23). Polttoainekulut vähenevät myös koska pääkoneiden hyötysuhde on parempi kuin pienempien apukoneiden ja ne käyttävät polttoaineena yleisesti raskasta polttoöljyä, joka on halvempaa kuin diesel.



Kuva 23. Akseligeneraattori propulsiojärjestelmässä (Akseligeneraattori)

Nykyaikaisten akseligeneraattoreiden ero vanhempiin nähden on parempi hyötysuhde, mutta myös taajuusmuuttajien käyttö, jolloin pääkoneiden tai potkurin pyörimisnopeutta voidaan vaihdella. Vaihtelu mahdollistaa moottorien ajamisen pienemmillä kierroksilla tarvittaessa, vähentäen polttoaineenkulutusta ja potkurin pyörimisnopeus voidaan säätää optimaalisemmaksi. Myös käyttäjien on helpompi monitoroida ja testata järjestelmää sen oman laitteiston kautta.

Telakoinneissa tai muuten käytettäessä maasähköä, uusien akseligeneraattoreiden kautta voidaan maasähkön taajuus muuttaa 50Hz tai 60Hz verkosta laivalle sopivaksi mahdollistaen sähkön saannin ympäri maailman. On myös mahdollista päivittää generaattori toimimaan tarvittaessa moottorina, jolloin voidaan lisätä aluksen nopeutta. Jos pääkoneet ovat vaurioituneet, voidaan ajaa apukoneiden tuottamalla sähköllä potkuria, kunhan pääkoneet voidaan erottaa potkurista esimerkiksi kytkimen avulla (Wärtsilä akseligeneraattori 2016).

13 HUOLLOT

Aluksen ja sen laitteistojen huolto on yksi tärkeimmistä asioista, jotta alus ylipäätään kulkee eteenpäin. Säännöllisesti huoltamalla alus on turvallinen paikka työskennellä ja huollettuna luotettava myös muille läheisyydessä oleville laivoille. Energiatehokkuuden parantamiseen huollolla ei ole niin suurta vaikutusta, jos on hyvä ennakkohuoltosuunnitelma, mutta tehokkuuden ylläpitämiseksi huolto on elintärkeä.

Huollot on listattu laivan omalle huoltosuunnitelmalle tuntien, päivien, kuukausien ja vuosien mukaan, josta ne viikoittain kerätään ja toteutetaan. Huoltoihin kuuluu esimerkiksi pääkoneiden venttiiliensäädöt, turbon pesut, separaattoreiden ”haalaukset” purku ja kasaus ja pääkoneiden haalaukset, joihin kuuluu muun muassa mäntien vaihtoa, sylinteriputkien vaihtoa, sylinterien hoonaukset, laakerien vaihdot ja näiden mittaukset. Työt kirjataan huolto-ohjelmaan päiväyksellä ja mitä on vaihdettu.

Koneistojen lisäksi on tärkeä huoltaa laivan sähköjärjestelmät, akustot ynnä muut sellaiset ja testata hätäjärjestelmien toiminta. Työt on myös kirjattu huolto-ohjelmaan ja ne tehdään säännöllisesti.

Aluksen runko ja erityisesti pohja vaativat myös jatkuvaa huoltoa, jotta laiva kestää meriolosuhteita ja korroosiota ja pysyy pitempään merikelpoisena. Pohjan korjaukset tehdään telakoilla, samoin puhdistukset pääasiallisesti. Nykyisin on alettu puhdistamaan ja samalla tarkistamaan sukeltamalla aluksen pohjaa ja potkureita sillä välin, kun alus on satamassa purkamassa ja lastaamassa. (Kuva 24).

Säännöllisellä puhdistamisella saadaan pidettyä polttoaineenkulutus kurissa, kun aluksen pohjasta saadaan poistettua kasvillisuus ja eliöstö jotka aiheuttavat vastuksen kasvua alukselle. Tämä tarkoittaa, että laivan pitää käyttää enemmän tehoa saavuttaakseen saman nopeuden kuin puhtaalla pohjalla ja kuluttaa enemmän polttoainetta.

Telakointivälit ovat kaksi kertaa viiden vuoden aikana (Solas Chapter 1, Reg 10-V) ja sinä aikana kertyy paljon kasvillisuutta, joka aiheuttaa polttoaineenkulutuksen kasvua. Sukeltamalla voidaan pestä säännöllisesti pohja ja potkuri,

myös maalipinta pysyy parempana pitempään. Hyvä maalipinta säästää kivi- ja metallialueilla maalauskuuluissa. Optimaalinen pohjan pesuväli on kerran tai kaksi kertaa kuukaudessa ja sillä voidaan säästää polttoainekuluissa noin 3—10% (Weltek-sukellus).



Kuva 24. Kasvuston poistoa aluksen pohjasta (Aluksen pohjan pesu 2015)

14 HUOLLON OPTIMOINTI

Huollon kannalta on tärkeää, että huollot tehtäisiin silloin kun ne oikeasti kannattaa tehdä, eikä vain tietyn tuntimäärän mukaan säännöllisesti. Huollot tehtäisiin silloin, kun osa tai laite alkaa olla vaihdon tarpeessa tai esimerkiksi ruis- kusuuttimen toiminta ei ole enää optimaalista tehokkuuden kannalta. Tämän tyyppinen huolto vaatii jatkuvat mittaukset ja analyysit, jotta voidaan määrittää osan tai laitteen kunto ja milloin vaaditaan huoltoa. Näiden analyysien mukaan tehtävän kuntoarvion täytyy tehdä kokenut ja pätevä henkilö tai laivan ulko- puolinen yritys kuten Wärtsilä (Wärtsilä optimised maintenance 2016).

Huoltoja optimoimalla pystytään pidentämään aluksen laitteiden huoltovälejä ja varmistamaan osien kunto, että osa ei hajoa ennen huoltoa kesken meri-

matkan. Huollot vähentävät huoltokustannuksia ja myös polttoainekustannukset pysyvät optimaalisina, kun viallinen osa voidaan vaihtaa ennen kuin se aiheuttaa tehokkuudelle haittaa. Samalla huollot parantavat aluksen miehistön turvallisuutta ja pitävät aluksen ajokunnossa pitempään (Wärtsilä optimised maintenance 2016).

15 WÄRTSILÄ HYBRID POWER MODULE

Kokonaisvaltaisena järjestelmänä ja uuteen alukseen asennettuna Wärtsilän hybridipropulsiojärjestelmä on merenkulkualan tulevaisuutta. Toiminta vastaa hybridiautoa eli järjestelmässä on dieselmoottorit, akusto ja automaatiojärjestelmä, joka ohjaa näiden käyttöä. Akuston avulla voidaan alusta liikuttaa ilman pääkoneita ja esimerkiksi satamasta voidaan lähteä heti ilman moottorien käynnistystä ja voidaan välttää pienellä kuormalla ajamista huonolla hyötysuhteella. Kun akuston varaus laskee minimirajalle lähtevät pääkoneet käyntiin (Wärtsilä HY 2017).

Pääkoneiden automaatio voi ajaa koneita sähköjärjestelmän kanssa tiputtamalla moottoreita pois käytöstä, jolloin polttoainetta kuluu vähemmän tai antamalla tarvittaessa akustosta lisäpotkua pääkoneiden jo käydessä täysillä. Huollon tarve vähenee, kun moottoreita ajetaan vähemmän ja turvallisuus paranee, kun alusta voidaan liikuttaa pelkän akuston avulla ilman pääkoneita. Järjestelmä voidaan rakentaa kaikkiin aluksiin räätälöitynä sopivaksi sen tarpeisiin (Wärtsilä HY 2017).

16 YHTEENVETO HYÖDYISTÄ

Hyötyjen laskentaa ei voi suorittaa kovin tarkkaan, vaan suuntaa-antavasti. Jotta saataisiin laskettua tarkka hyöty, niin kaikkia laitteita ja konversioita niiden välillä pitäisi voida testata käytännössä tai pystyä mallintamaan tarkasti. Tämä vaatisi tarkkaa tietoa laivan kuluista vuodessa ja siihen taas vaikuttaa muun muassa käytettävä reitti ja paljonko aluksella on työtä vuodessa. Päästöksemme jonkinlaiseen kokonaisuuteen ja laskettua mahdolliset hyödyt eri parannusmahdollisuuksien joukossa, lasketaan kaikkien hyödyt arviolta joko valmistajan arvolla tai arvioidaan mikä arvo voisi olla. Saaduista tiedoista lasketaan mahdollinen rahallinen hyöty vuodessa tämän kokoluokan ja tyyppin

aluksessa. Koska laivalla voi olla jo osa laitteista, kuten akseligeneraattori, on niiden kohdalla ajateltu uuden/vanhan päivittämisen etua.

Taulukko 2. Hyötyjen laskentaa.

	Hyöty	Hyötysuhteen parannus (%)	Laivan hyötysuhteen parannus (%)	Säästö vuodessa (€)
LNG	Päästöt, energiankulutus ja huoltokulut		4	200000
Commonrail	Päästöt, polttoainesäästö ja huoltokulut		1	50000
Vesiruiskutus	Päästöt, energiankulutus ja huoltokulut	0	0	0
Ahtaminen	Päästöt ja polttoainesäästö		1	50000
Kaksoisahtamien	Päästöt ja polttoainesäästö		1	50000
Miller ajoitus	Päästöt		1	50000
Pumput ja puhaltimet	polttoaineensäästö ja huoltokulut	25	1	50000
Separaattorit	polttoaineensäästö	1	1	50000
Energoprofin	polttoaineensäästö	2	2	100000
Azipod	polttoaineensäästö	20	20	1000000
CRP	polttoaineensäästö	13	13	650000
Roottoripurje	polttoaineensäästö	15	15	750000
Kattilat ja polttimet	polttoaineensäästö	5	5	250000
Automaatio ja sähköjärjestelmä	polttoaineensäästö ja huoltokulut	5	5	250000
Akseligeneraattori	polttoaineensäästö		1	50000
Huollon optimointi	polttoaineensäästö ja huoltokulut	5	5	250000
Pohjan pesu	polttoaineensäästö	5	5	250000
Wärtsilä HY	polttoaineensäästö		20	1000000

Taulukossa on ilmoitettu kohdelaitteistoa koskeva parannus ja paljonko se voisi parantaa laivan kokonaishyötysuhdetta. Monella laitteistolla ei itse hyötysuhteen parannusta ole, mutta niillä on merkitystä tuleviin päästömääräyksiin ja hyötysuhteen pitämiseen samana. Tuloksista näkee, että tehtävillä parannuksilla voidaan säästää vuodessa huomattavia summia.

17 JOHTOPÄÄTÖKSET

Laivalle ja teollisuuteen on tarjolla eri valmistajilta paljon vaihtoehtoja, joilla voidaan parantaa hyötysuhdetta. Investoinnin arvo ja sen hyöty voi olla jotakin aivan muuta kuin mitä on luvattu. Olisi aina parempi, mikäli ajateltua järjestelmää tai laitteistoa olisi jo testattu toisella samantyyppisellä aluksella, jolloin tiedettäisiin todelliset hyödyt.

Propulsio on yksi järjestelmistä, jossa voidaan parantaa huomattavasti vanhaa järjestelmää ja saada säästöjä, mutta myös aluksen kulkunopeuden vähentämisellä, slow steaming, päästään suuriin säästöihin. Myös roottoripurjeet tulevat varmasti lisääntymään laivoilla.

Polttoaineen vaihto rikittömään on yksi keino tulevien päästömääräyksien kanssa, mutta typpioksidipäästöjen vähentäminen vaatisi moottorien päivittämistä Miller ajoituksella ja tuplaturboahtimilla, sekä mahdollisesti vesiruisuktuksella tai pakokaasupesureilla. Nesteytetty maakaasu on myös mahdollinen vaihtoehto tulevien päästömääräyksien kanssa. Nesteytetty maakaasu vaatii uusien tankkien rakentamista tai vanhojen polttoainetankkien muuttamista maakaasulle. Koneen päivittämisen toimimaan nesteytetyllä maakaasulla ja sen vaatimat varojärjestelmät pitää asentaa. Nesteytetyn maakaasun hinta on tippunut ja sen jakeluverkosto on kasvanut eikä sen kanssa tule ongelmia tulevien päästömääräyksien kanssa.

Kaikkien laivojen on hyvä kiinnittää huomiota huoltoihin ja niiden tarkempaan suunnitteluun hyvän automaatiojärjestelmän kanssa. Huolloilla voidaan taata, että järjestelmät toimivat parhaimmalla tehokkuudella ja turha huoltaminen voidaan poistaa. Aluksen pohjan ja potkurin puhdistaminen on asia jolla voi hyvin yksinkertaisesti säästää polttoainekuluissa.

18 LOPPUSANAT

Opinnäytetyö oli hyvin mielenkiintoinen, kun sai etsiä eri keinoja tehokkuuden parantamiseen ja selata valmistajien eri tuotteita ja kehitystä asioiden tiimoilla. Samalla sai uppoutua joihinkin järjestelmiin paremmin ja oppia uutta asiasta. Hankalaksi työn teki se, ettei ollut valmista alusta, mistä saada kaikki propulSION ja käyttövoiman tiedot ynnä muut. Myös tulosten tarkastelu olisi ollut helpompaa, kun olisi voinut verrata johonkin.

Mielestäni kävin hyviä vaihtoehtoja läpi tekstissä, vaikka joihinkin olisi voinut syventyä enemmänkin, mutta se olisi kasvattanut työtä aika paljon ja näin sen turhaksi. Se, mikä kokonaisuus olisi hyvä laivalle, on myös paljon kiinni aluksen iästä ja halutaanko siihen investoida vielä vai rakentaa uusi laiva uudella tekniikalla. Tästä työstä saa kuitenkin jotakin käsitystä siitä, mitä voidaan parantaa ja mitä hyötyjä eri laitteiden parannuksista voisi olla käytännössä.

LÄHTEET

ABB Azipod. 2013. WWW-dokumentti. Saatavissa:

<http://www.abb.fi/cawp/seitp202/5b36d44c73dd4952c1257c2b004931fc.aspx>

[Viitattu 26.4.2017].

ABB CRP propulsio. 2001. WWW-dokumentti. Saatavissa:

<http://www02.abb.com/glo->

[bal/seitp/seitp161.nsf/0/97bb79b37b44ed8dc1257082003d8b58/\\$file/The+CR](http://www02.abb.com/globalseitp/seitp161.nsf/0/97bb79b37b44ed8dc1257082003d8b58/$file/The+CR)

[P+Azipod+Propulsion+Concept.pdf](http://www02.abb.com/globalseitp/seitp161.nsf/0/97bb79b37b44ed8dc1257082003d8b58/$file/The+CRP+Azipod+Propulsion+Concept.pdf) [Viitattu 26.4.2016].

ABB Power2. 2015. WWW-dokumentti. Saatavissa: [https://search-](https://search-ext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=9AKK10103A1274&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch)

[ext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=9AKK10103A1274&Langu-](https://search-ext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=9AKK10103A1274&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch)

[ageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch](https://search-ext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=9AKK10103A1274&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch) [Viitattu 16.8.2017].

ABB Pumps variable speed drives. 2010. WWW-dokumentti. Saatavissa:

<https://library.e.abb.com/pub->

[lic/27d7d3c1812938dfc1257c0000488d21/Energy%20Efficiency%20Soluti-](https://library.e.abb.com/pub-lic/27d7d3c1812938dfc1257c0000488d21/Energy%20Efficiency%20Soluti-)

[ons.pdf](https://library.e.abb.com/pub-lic/27d7d3c1812938dfc1257c0000488d21/Energy%20Efficiency%20Solutions.pdf) [Viitattu 25.4.2017].

Akseligeneraattori s.a. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://www.wetech.fi/en/solutions.html>

[Viitattu 2.11.2017].

Alfa Laval lämmöntalteenotto. 2017. WWW-dokumentti. Saatavissa:

[http://www.alfalaval.com/globalassets/documents/industries/marine-and-trans-](http://www.alfalaval.com/globalassets/documents/industries/marine-and-transportation/marine/whr.pdf)

[portation/marine/whr.pdf](http://www.alfalaval.com/globalassets/documents/industries/marine-and-transportation/marine/whr.pdf) [Viitattu 19.7.2017].

Alfa Laval Separaattorit. WWW-dokumentti. Saatavissa: [http://www.alfala-](http://www.alfalaval.com/products/separation/centrifugal-separators/separators/)

[val.com/products/separation/centrifugal-separators/separators/](http://www.alfalaval.com/products/separation/centrifugal-separators/separators/) [Viitattu

10.5.2017].

Aluksen pohjan pesu. 2015. WWW-dokumentti. Saatavissa: [http://www.brasal-](http://www.brasal-marine.com/en/project-27.html)

[marine.com/en/project-27.html](http://www.brasal-marine.com/en/project-27.html) [Viitattu 26.7.2017].

Apukattila. 2015. WWW-dokumentti. Saatavissa: [http://marineengineeringon-](http://marineengineeringonline.com/category/general-engineering-knowledge/boilers/page/5/)

[line.com/category/general-engineering-knowledge/boilers/page/5/](http://marineengineeringonline.com/category/general-engineering-knowledge/boilers/page/5/) [Viitattu

22.8.2017].

Commonrail järjestelmä s.a. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://slideplayer.com/slide/4765445/15/images/31/Fuel+Injection+%E2%80%93+Common+Rail.jpg> [Viitattu 11.10.2017].

Commonrail. 2004. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://m.marinelog.com/DOCS/PRODS/MMIVprod09292.html> [Viitattu 26.5.2017].

CRP ROPAX 2004. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://www.dieselduck.info/machine/02%20propulsion/2004%20CRD%20hybrid.pdf> [Viitattu 26.4.2016].

Energiatehokkuussopimukset. 2010. WWW-dokumentti. Saatavissa: https://www.motiva.fi/files/3193/Polttoaineiden_lampoarvot_hyotysuhteet_ja_hiilidioksidin_ominaispaastokertoimet_seka_energianhinnaat_19042010.pdf [Viitattu 25.4.2017].

Hyötysuhde s.a. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://peda.net/oppimateriaalit/e-oppi/n%C3%A4yttekirjat/ylakoulu/fysiikka/ops2004/efysiikka-86/2ejl/hy%C3%B6tysuhde> [Viitattu 10.10.2017].

Imperato. 2016. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://aalto-doc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/21217/isbn9789526068985.pdf?sequence=1> [Viitattu 10.8.2017].

Kaksoisturbohtamisen periaate s.a. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://articles.maritimepropulsion.com/article/ABC-introduces-newly-developed-DL36-Diesel-Engine-series-with-10000-kW-1298.aspx> [Viitattu 12.10.2017].

Kattilat. 2015. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://marineengineeringonline.com/auxiliary-boiler-on-ships/> [Viitattu 19.7.2017].

Kongsberg moottorin diagnostiikka ja päästöjen seuranta. 2016. WWW-dokumentti. Saatavissa: [https://www.km.kongsberg.com/ks/web/nokbg0397.nsf/AllWeb/64E9841D6B44E4B4C12579EB00433B64/\\$file/Kongsberg-Engine-Performance-Systems.pdf?OpenElement](https://www.km.kongsberg.com/ks/web/nokbg0397.nsf/AllWeb/64E9841D6B44E4B4C12579EB00433B64/$file/Kongsberg-Engine-Performance-Systems.pdf?OpenElement) [Viitattu 1.9.2017].

Kuiken 2012a. Diesel Engines 1 for ship propulsion and power plants. The Netherlands: Onnen.

Kuiken, 2012b. Diesel Engines 2 for ship propulsion and power plants. The Netherlands: Onnen.

Laivajärjestelmiä s.a. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://www.machineryspaces.com/> [Viitattu 5.5.2017].

MAN polttoaineet ja voiteluaineet. 2014. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://marine.man.eu/docs/librariesprovider6/technical-papers/guidelines-for-fuels-and-lubes-purchasing.pdf?sfvrsn=16> [Viitattu 10.5.2015].

Matusiak, Jerzy. 1996. Laivan propulsio. 3. painos. Otaniemi

Miller ajoitus. 2010. WWW-dokumentti. Saatavissa: https://library.e.abb.com/public/bb370e9ea2e5e464c12578800056520c/ABB%20Turbocharging_Turbocharging%20medium%20speed%20diesel%20engines....pdf [Viitattu 1.8.2017].

Nelitahtikoneen ajoitus s.a. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://jasdeep-singh.in/education/diesel-engine/> Viitattu [28.9.2017].

Nelitahtikoneen hyötysuhde ja hukat. 2004. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://www.albadr.org/www/pdf/library/487.pdf> [Viitattu 8.10.2017].

Norsepower Roottoripurje. 2017. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://www.norsepower.com/> [Viitattu 19.9.2017].

NOx päästöjen vähentäminen suurissa diesel moottoreissa. 2016. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/21217/isbn9789526068985.pdf?sequence=1&isAllowed=y> [Viitattu 2.8.2017].

Polttoainehinnat s.a. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://www.bunker-world.com/> [Viitattu 25.4.2017].

Polttoainehäviöt Wärtsilä. 2012. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://docplayer.fi/4051102-Katri-sadeharju-maakaasukayttoisten-polttomoottorivoimalaitos-ten-pakokaasujen-lammontalteenotto-diplomityo.html> [Viitattu 9.10.2017].

Polttoainejärjestelmä s.a. WWW-dokumentti. Saatavissa:

<http://www.machineryspaces.com/fuel-oil-treatment.html> [Viitattu 16.9.2017].

Propulsio teoriaa. 2011. WWW-dokumentti. Saatavissa: [http://ma-](http://marine.man.eu/docs/librariesprovider6/propeller-aftship/basic-principles-of-propulsion.pdf?sfvrsn=0)

[rine.man.eu/docs/librariesprovider6/propeller-aftship/basic-principles-of-propulsion.pdf?sfvrsn=0](http://marine.man.eu/docs/librariesprovider6/propeller-aftship/basic-principles-of-propulsion.pdf?sfvrsn=0)

Separattorin poikkileikkaus ja toiminta s.a. WWW-dokumentti. Saatavissa:

<http://www.separationequipment.com/p-separators-805-815.html> [Viitattu 18.9.2017].

Skangass. 2014. WWW-dokumentti. Saatavissa: [http://www.laradi.fi/images/fi-](http://www.laradi.fi/images/files/syyspaivat_2014/Skangass_Mattila_Laradi%2003102014.pdf)

[les/syyspaivat_2014/Skangass_Mattila_Laradi%2003102014.pdf](http://www.laradi.fi/images/files/syyspaivat_2014/Skangass_Mattila_Laradi%2003102014.pdf) Viitattu [14.10.2017].

Van Dokkum. 2013. Ship Knowledge ship design, construction and operation. The Netherlands: Dokmar.

Venttiilikoneisto s.a. WWW-dokumentti. Saatavissa: [https://www.en-](https://www.engineersedge.com/power_transmission/diesel_timing_gears_camshaft.htm)

[gineersedge.com/power_transmission/diesel_timing_gears_camshaft.htm](https://www.engineersedge.com/power_transmission/diesel_timing_gears_camshaft.htm) [Viitattu 13.9.2017].

Wärtsilä akseligeneraattori. 2016. WWW-dokumentti. Saatavissa:

http://www.sam-electronics.de/fileadmin/user_upload/Broschueren_PDF_Dateien_Energie_Antriebe/Shaft_Generator_Systems_12082016.pdf [Viitattu 1.8.2017].

Wärtsilä CFD. 2016. WWW-dokumentti. Saatavissa: [http://www.wart-](http://www.wartsila.com/marine/applications/fishing-vessels/technology-highlight)

[sila.com/marine/applications/fishing-vessels/technology-highlight](http://www.wartsila.com/marine/applications/fishing-vessels/technology-highlight). [Viitattu 29.3.2017].

Wärtsilä EnergoProFin. 2016. WWW-dokumentti. Saatavissa: [http://cdn.wart-](http://cdn.wartsila.com/docs/default-source/Service-catalogue-files/Propulsion-Services/leaflet-energoprofin.pdf?sfvrsn=3)

[sila.com/docs/default-source/Service-catalogue-files/Propulsion-Services/leaflet-energoprofin.pdf?sfvrsn=3](http://cdn.wartsila.com/docs/default-source/Service-catalogue-files/Propulsion-Services/leaflet-energoprofin.pdf?sfvrsn=3). [Viitattu 29.3.2017].

Wärtsilä HY. 2017. WWW-dokumentti. Saatavissa: [https://cdn.wart-](https://cdn.wartsila.com/docs/default-source/product-files/hybrid/brochure-o-ea-hy.pdf?sfvrsn=6)

[sila.com/docs/default-source/product-files/hybrid/brochure-o-ea-hy.pdf?sfvrsn=6](https://cdn.wartsila.com/docs/default-source/product-files/hybrid/brochure-o-ea-hy.pdf?sfvrsn=6) Viitattu [19.9.2017].

Wärtsilä optimised maintenance. 2016. WWW-dokumentti. Saatavissa:

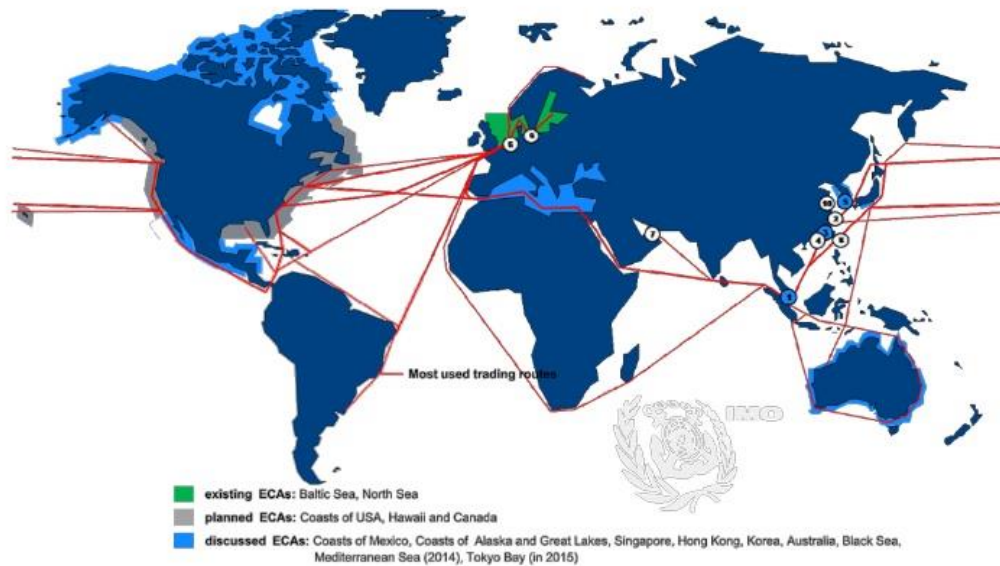
<http://cdn.wartsila.com/docs/default-source/Service-catalogue-files/Service-agreements-for-marine-installations/wartsila-optimised-maintenance.pdf?sfvrsn=5> [Viitattu 22.4.2017].

LIITTEET

Liite 1. Päästörajoitukset

Pakokaasujen päästörajoitusalueet

STX Finland

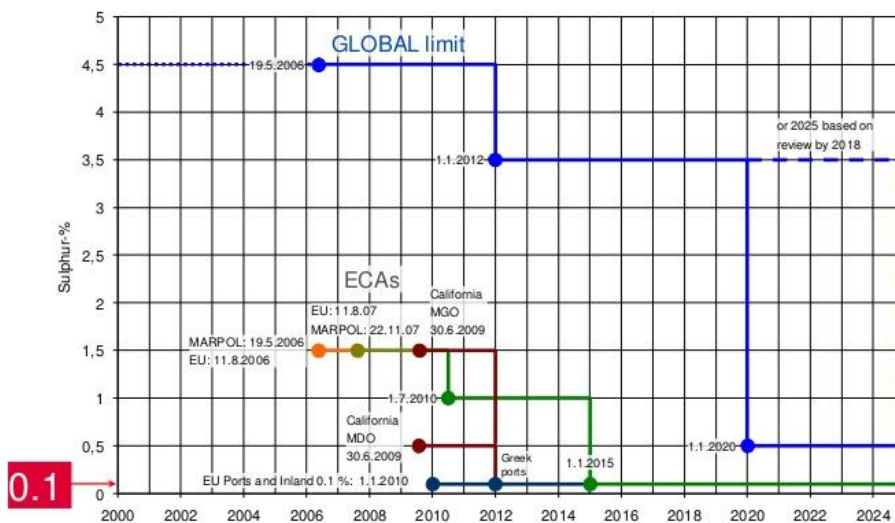


22-05-2012

SOx – Päästörajoitukset

STX Finland

- Rikkipitoisuusrajoitukset kaikille laivoille
- Joko käytettävä pienempipitoisuuksista polttoainetta tai puhdistettava pakokaasuja

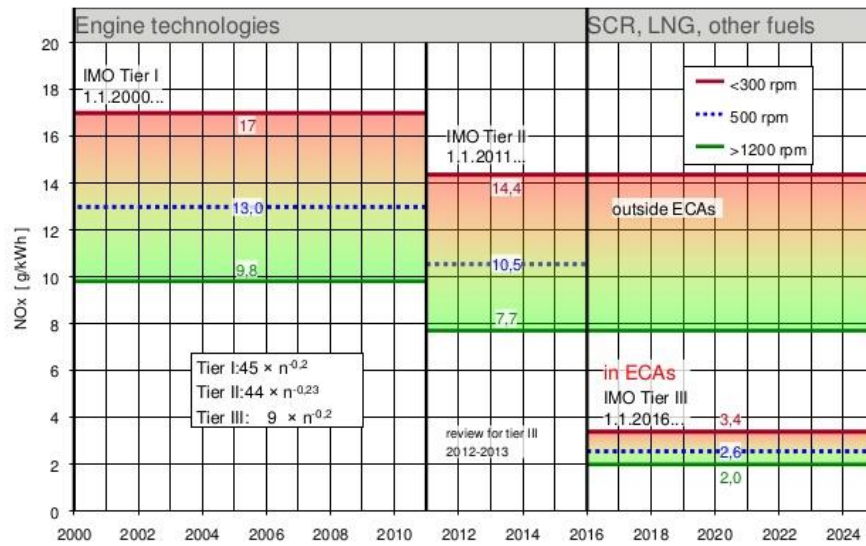


22-05-2012

NOx – Päästörajoitukset



- NOx rajat uusille marine-moottoreille > 130 kW
- Katalysaattorit ja LNG ratkaisuja päästörajoitusten alittamiseen



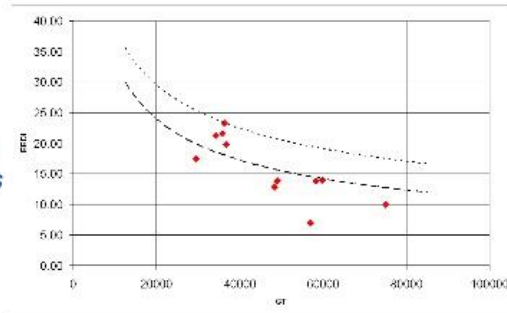
22-05-2012

CO₂ päästöt



- Hiilidioksidipäästöjen rajoittamiseksi IMO:ssa (International Maritime Organisation) on tekeillä vaatimus risteilijöiden energiatehokkuudelle. Rahtialuksille kyseinen on jo olemassa
- EEDI (= Energy Efficiency Design Index)
- Ideana on verrata aluksen kuluttamaa tehoa sen kuljetussuoritteeseen ja asettaa tälle suhdeluvulle vaatimukset

$$EEDI = \frac{\text{hiilidioksidin tuotto}}{\text{kuljetuskapasiteetti} \times \text{nopeus}}$$



$$\frac{\left(\prod_{j=1}^M f_j \right) \left(\sum_{i=1}^{NM} P_{M(i)} C_{EM(i)} \cdot SFC_{EM(i)} \right) + (P_{AE} \cdot C_{AE} \cdot SFC_{AE}) + \left(\prod_{j=1}^M f_j \cdot \sum_{i=1}^{NM} P_{M(i)} - \sum_{i=1}^{NM} f_{EM(i)} \cdot P_{M(i)} \right) C_{AE} \cdot SFC_{AE}}{f \cdot \text{Capacity} \cdot V_{ref} \cdot f_v} - \left(\sum_{i=1}^{NM} f_{EM(i)} \cdot P_{M(i)} \cdot C_{EM} \cdot SFC_{EM} \right)$$

22-05-2012