

Anton Hartonen

# DIESELTEKNIIKAN OPINTOJAKSON SISÄLLÖN KOKOAMINEN

Merenkulun koulutusohjelma

Insinööri

2019

# DIESELTEKNIIKAN OPINTOJAKSON SISÄLLÖN KOKOAMINEN

Hartonen, Anton  
Satakunnan ammattikorkeakoulu  
Merenkulun koulutusohjelma, insinööri  
Toukokuu 2019  
Sivumäärä: 18  
Liitteitä: 2

Asiasanat: dieseltekniikka, merimoottori, opiskelu, opintojakso

---

Tämän työn tarkoituksena oli tuottaa ja koota sisältö merenkulun insinööri -koulutuslinjan dieseltekniikan opintojaksolle. Tavoitteena oli luoda merenkulun insinööriopiskelijoille vakaa tietoperusta dieselmootoreista ja niiden toimintaperiaatteista vahtikone-mestarisatilla. Opinnäytetyö toteutettiin yhteistyössä Satakunnan Ammattikorkeakoulun kanssa.

Aineisto koottiin yhdeksi Word-asiakirjaksi, joka on tämän työn liitteenä. Asiakirja tullaan siirtämään dieseltekniikan opintojakson Moodle-pohjaan ja sitä voidaan käyttää opetustarkoituksessa tuleville opiskelijoille. Aineiston pohjalta laadittiin myös kurssin aikana suoritettavat kurssitehtävät.

Käsiteltäviä asiakokonaisuuksia olivat dieselmootoreiden toimintaperiaatteet, palaminen, ahtaminen, poltto- ja voiteluaineet, apulaitejärjestelmät, kaksi- ja nelitahtinen työkierto, dieselmootorin keskeiset komponentit, sisäinen jäähdytys-, voitelu- ja polttoainejärjestelmät, huolto- ja kunnossapitotyöt ja käynnistys sekä käynninvalvonta. Kurssimateriaalin sisältö vastaa STCW A-III/4, A-III/1 ja A-III/2 -vaatimuksia.

Opiskelijoille määritetään seuraavat osaamistasot:

Taso 1:

- tunnistaa dieselmootorityypit
- tuntee dieselmootoreiden toimintaperiaatteet
- tuntee tarvittavien apulaitejärjestelmien toimintaperiaatteet

Taso 3:

- tunnistaa dieselmootorin toimintahäiriöt
- tuntee apujärjestelmien toiminnan
- suoriutuu itsenäisesti simulaatioharjoituksista

taso 5:

- pystyy ennakoimaan toimintahäiriöiden syntyä
- kykenee analysoimaan häiriöön johtaneita syitä

## COMBINING CONTENT FOR DIESEL TECHNOLOGY STUDY MODUL

Hartonen, Anton

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Marine Engineering

May 2019

Number of pages: 18

Appendices: 2

Keywords: diesel technique, marine engine, studies, study module

---

The purpose of this thesis was to gather content for diesel technique study module for degree programme of marine engineering. Goal of the thesis was to give the students a solid knowledge of diesel engines and their working principles on a watch keeping engineering level. This thesis was produced in collaboration with Satakunta University of Applied Sciences.

Content of the study module was combined as one Word document which is as annex of this thesis. The document will be published on diesel techniques Moodle platform and it can be used in study means for the future students. Document containing questions about the course material was created on the basis of the study material. Students have to accomplish these during the course.

Module consists of the following topics: diesel engines working principles, charging, burning, fuel- and lubricating oils, working limits, auxiliary systems, engines working limits, two- and four stroke working cycles, components of diesel engine, internal cooling-, fuel-, and lubrication fluids, maintenance, starting of engine and monitoring of running engine. Content meets requirements of STCW A-III/4, A-III/1 ja A-III/2 - regulations.

The following levels of knowledge was determined for the students:

Level 1:

- recognizes diesel engine types
- knows the working principles of diesel engines
- knows the functions of mandatory auxiliary systems

Level 3:

- recognizes the disorders of diesel engines
- knows the working principles of auxiliary systems
- performs independently in simulator training

Level 5:

- is able to anticipate the reasons that lead to disorders
- is able to analyze the reasons that lead to disorder

## SISÄLLYS

1 JOHDANTO.....	5
2 MERENKULUN KOULUTUS .....	7
2.1 Satakunnan ammattikorkeakoulu.....	7
2.2 Merenkulun insinööri -koulutuslinja.....	7
3 DIESELTEKNIikka .....	8
3.1 Dieselmoottorin historia.....	8
3.2 Dieselmoottorit tämän päivän merenkulussa .....	10
4 OPINTOJAKSO .....	15
5 YHTEENVETO .....	16
LÄHTEET.....	18
LIITTEET	

## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyöni aiheeksi valitsin merenkulun insinööri -koulutuslinjan dieseltekniikan opintojakson sisällön tuottamisen. Tämä aineisto koottiin tämän työn liitteenä olevaan Word-asiakirjaan, joka voidaan siirtää opintojakson Moodle-pohjaan ja käyttää opetustarkoituksessa tuleville vuosikursseille. Aineiston pohjalta laadittiin myös kurssin aikana suoritettavia kurssitehtäviä. Tehtäväpaketti koostuu 15 kysymyksestä, joihin on löydettävissä vastaus laaditusta kurssimateriaalista.

Dieseltekniikan opintojakso on tuleville merenkulun insinööreille ensimmäisiä laivamoottoreihin syvemmin perehdyttäviä kursseja. Koen kurssin olevan erittäin merkittävässä roolissa tuleville konemiehille, ja juuri sen tärkeyden vuoksi halusinkin lähteä kehittämään kurssia ja sen sisältöä yhteistyössä Satakunnan Ammattikorkeakoulun kanssa. Dieseltekniikan kurssilla luodaan perusta konetietämyksestä ja se tukee opiskelijaa heti ensimmäisissä koneharjoituksissa, tulevaisuuden opinnoissa ja aina koko työuran ajan. Edellä mainitun lisäksi tämä oli minulle henkilökohtaisesti erinomainen tilaisuus vielä syventää omaa tietoisuuttani insinööriksi valmistumisen kynnyksellä, mikä oli myös merkittävä osatekijä juuri tämän aiheen valintaan.

Tämän työn tärkeimpänä tavoitteena oli luoda Satakunnan Ammattikorkeakoulun merenkulun insinööriopiskelijoille vakaa tietoperusta dieselmoottoreista ja niiden toimintaperiaatteista. Työssä käydään läpi dieselmoottoreiden toiminta, rakenteet, käyttö sekä tyypillisimmät häiriötilanteet. Kurssin hyväksytysti suorittanut henkilö pystyy teoreettisella tasolla käynnistämään aluksen moottorit sekä suoriutumaan käynninvalvonnasta. Tämän lisäksi henkilö pystyy suoriutumaan teoreettisella tasolla huolto- ja kunnossapitotehtävistä oikeita ja turvallisia työmenetelmiä noudattaen. Kurssimateriaalin sisältö vastaa STCW A-III/4, A-III/1 ja A-III/2 -vaatimuksia.

Kurssissa käsiteltäviä asiakokonaisuuksia ovat dieselmoottoreiden toimintaperiaate, palaminen, ahtaminen, poltto- ja voiteluaineet, apulaitejärjestelmä, kaksi- ja nelitahtinen työkierto, dieselmoottorin keskeiset komponentit, sisäiset jäähdytys-, voitelu- ja

polttoainejärjestelmät, huolto- ja kunnossapitotyöt ja käynnistys sekä käynninvalvonta. Työ rajattiin niin, että se ei käsitellyt kuin pakollisilta osin koneautomaatiota ja koneiden sekä koneistojen sähköjärjestelmiä, vaan keskittyi nimenomaan dieselmootoreiden mekaanisiin toimintaperiaatteisiin.

Pääasiallisena tietolähteenä käytettiin painettua kirjallisuutta. Tämän lisäksi käytettiin verkkolähteitä, jotta työhön saatiin ajantasaista tietoa dieseltekniikan nykytilasta ja kehityksestä viime vuosina. Työssä käytettiin myös paljon havainnollistavia kuvia. Kuvien tarkoitus on auttaa opiskelijaa hahmottamaan ja ymmärtämään käsiteltäviä asioita. Omaan myös jonkin verran kokemusta dieseltekniikasta ja koneistoista ja lähteiden tukena toimikin omakohtaiset kokemukset ja vuosien varrella laivoilta kerätty käytännön tieto.

Tässä työssä lähestyttiin tutkimusongelmaa kvalitatiivisesti, luoden opintomateriaali ja selittämällä sekä vertailemalla dieselmootoreiden toimintaa, käyttöä, rakennetta, huoltoa ja yleisimpiä häiriötilanteita.



Kuvio 1. Työn käsitteellinen viitekehys

## 2 MERENKULUN KOULUTUS

### 2.1 Satakunnan ammattikorkeakoulu

Tämän työn tilaaja, Satakunnan ammattikorkeakoulu, (myöhemmässä yhteydessä SAMK) on teollisuusammattikorkeakouluksi profiloituva korkeakoulu, joka toimii Satakunnan alueella. SAMK:lla on kampuksia Porissa, Raumalla, Huittisissa ja Kaanpäässä. Satakunnan ammattikorkeakoulussa opiskelee noin 600 opiskelijaa ja se työllistää noin 400 henkilöä. (Satakunnan ammattikorkeakoulun www-sivut 2019.)

SAMK:n erikoisosaamista on merenkulkualan koulutus Rauman kampuksella. Rauman lisäksi merenkulun koulutusta järjestetään Suomessa vain kolmessa kaupungissa: Kotkassa, Turussa ja Maarianhaminassa. SAMK:ssa voi suorittaa alemman korkeakoulututkinnon merenkulun insinööriksi sekä merikapteeniksi. Merikapteenin koulutus järjestetään englanninkielisenä. SAMK:n hiljattain uusittu Rauman kampus on koko ammattikorkeakoulun kansainvälinen kampus, siellä opiskeleekin noin 50 eri kansallisuutta. Rauman kampuksella on viimevuosina panostettu myös uuteen huippumoderniin merenkulun simulaattoriin, joka antaa opiskelijoille erinomaiset eväät koulutukseen ja työelämään. (Satakunnan ammattikorkeakoulun www-sivut 2019: Suomen Merimies-Unionin www-sivut 2019.)

### 2.2 Merenkulun insinööri -koulutuslinja

Merenkulun insinöörien koulutus on 270 opintopisteen eli noin 4,5 vuoden opintokokonaisuus. Merenkulun insinööriksi valmistuneilla on edellytys työllistyä laivojen konehuoneisiin moottorimiehiksi, konemestareiksi ja konepäälliköiksi. SAMK:ssa koulutus koostuu ensimmäisen vuoden vahtimiesopinnoista, toisen ja kolmannen vuoden vahtikonemestariopinnoista ja neljäntenä vuonna aloitettavista konemestari- ja ylikonemestartason opinnoista. Tässä opinnäytetyössä liitteenä oleva opetusmateriaali onkin suunnattu juuri vahtikonemestartason opiskelijoille.

## 3 DIESELTEKNIikka

### 3.1 Dieselmoottorin historia

Saksalainen insinööri Rudolf Diesel kehitti teorian moottorista, jonka toiminta perustui lämpötilan erittäin nopeaan kohottamiseen moottorissa kovan paineen vaikutuksesta. Dieselin laskelmien mukaan tämä saisi polttoaineen syttymään ilman erillistä kipinää. Vuonna 1893 hän teki julkaisun uusista ideoistaan, ja vuoden 1893 helmikuussa hän sai patentin ”uudelle järkiperaiselle lämpövoimakoneelle”. Diesel solmi Augsburgilaisen moottoritehtaan kanssa sopimuksen helmikuussa 1893 ja maailman ensimmäisen dieselmoottorin rakentaminen alkoi. (Tieteen Kuvalehden www-sivut 2019.)

Diesel teki ensimmäisen moottoriversion käyttötestin 10. elokuuta 1893 saksalaisessa Augsburgin moottoritehtaassa, Moottori oli lähes kolme metriä korkea ja moottorin tehon piti olla viisi hevosvoimaa. Moottori ei kuitenkaan kestänyt polttoaineen syttymistä ja ensimmäinen koe päättyi räjähdykseen ja moottorin hajoamiseen kappaleiksi. Kukaan ei vahingoittunut ja teoria polttoaineen sytyttämisestä ilman kipinää osoittautui mahdolliseksi. Kehitystyö jatkui ja viiden kuukauden kuluttua ensimmäisestä testistä moottori kävi minuutin. Moottori ei kuitenkaan käynyt riittävän vakaasti. (Tieteen Kuvalehden www-sivut 2019.)

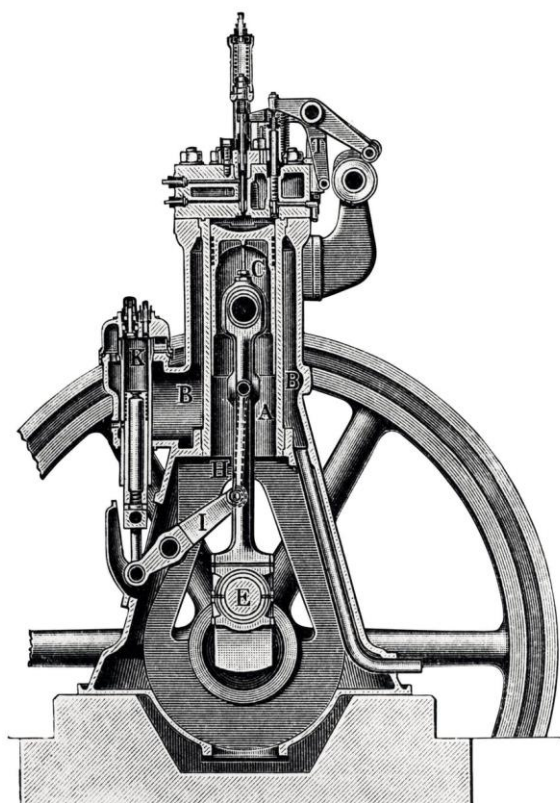
Diesel jatkoi kehitystyötä ja vuonna 1895 moottori toimi luotettavasti ja tuotti ulos siihen aikaan ennätyselliset 25 hevosvoimaa. Ensimmäinen koevaihe päättyi tammi-kuussa 1897. Diesel oli kehittänyt moottorin, joka oli neljä kertaa niin tehokas kuin käytössä olleet höyrykoneet ja peräti kaksi kertaa niin tehokas kuin muut polttomoottorit. Rudolf Diesel oli valmistanut ensimmäisen toimivan dieselmoottorin. (Tieteen Kuvalehden www-sivut 2019.)

Diesel tarvitsi kehittämälleen moottorille laatuhyväksynnän, joten hän pyysi Münchenin yliopiston professoria tekemään lopullisen käyttöönottestin. Professori oli hyvin vaikuttunut näkemästään, ja kutsuikin Dieselin moottoria tulevaisuuden moottoriksi, joka myöhemmin on osoittautunut varsin paikkaansa pitäväksi. Dieselmoottori oli



suuri menestys ja siihen onkin tehty vain muutamia muutoksia vuoden 1897 jälkeen. Koneen valmistuslisenssejä myytiin suuret määrät ja ensimmäinen dieselmoottori pääsi pian teolliseen käyttöön saksalaiseen tulitikkuja valmistavaan tehtaaseen. (Tieteen Kuvalehden www-sivut 2019.)

Skandinaavit olivat ensimmäiset merenkulussa dieselmoottoria hyödyntävät. Vuonna 1909 tanskalainen Itä-Aasian kauppakomppania tilasi Kööpenhaminan B&W -telakalta ensimmäisen valtamerilaivan, joka kulki dieselmoottorilla. Alus, joka nimettiin Selandiaksi, valmistui 4.11.1911 ja lähti ensimmäiselle matkalleen kolme kuukautta tämän jälkeen. Matka oli onnistunut ja huima menestys: alus oli höyrylaivoja nopeampi, halvempi ja huoltovapaampi. Samoihin aikoihin ruotsalainen AB Diesel Motorer rakensi moottorin norjalaiseen alukseen ja ihminen pääsi ensimmäistä kertaa etelänvalle. (Tieteen Kuvalehden www-sivut 2019.)



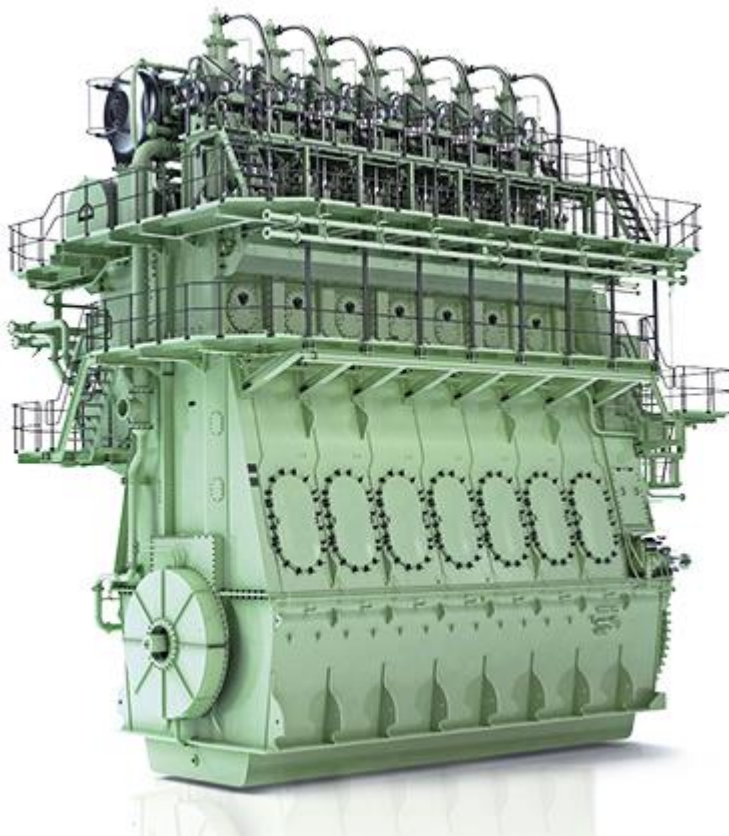
Kuva 1. Ensimmäinen dieselmoottori (Tieteen Kuvalehden www-sivut 2019).

### 3.2 Dieselmoottorit tämän päivän merenkulussa

Aina ensimmäisestä käytöstään vuonna 1912 dieselmoottorit ovat dominoineet kaupallisen merenkulun voimanlähteinä. Tämän päivän merenkulussa käytetään lähes poikkeuksetta dieselmoottoreita alusten propulsioon, Moottori toimii voimanlähteenä, joka saa aluksen liikkeeseen potkurin välityksellä. Tämän lisäksi dieselmoottorit ovat käytössä aluksen sähkön tuottamiseen. Moottoreiden pyörivä liike pyörittää moottorin päässä olevaa generaattoria, joka muuttaa liike-energian sähköksi ja syöttää sen laivan verkkoon ja kuluttajille. (ShipInsightin www-sivut 2019.)

Erilaisia dieselmoottoreita käyttäviä alustyypppejä on useita. Dieselmoottoreiden markkina-alueita ovat muun muassa kaupallinen laivasto, offshore sekä matkustaja- ja sotilasalukset. Globaali kauppalaivasto, maailmantalouden kannalta merkittävin kuljetuskalusto, pitää sisällään muun muassa konttilaivoja, tankkereita, kuivarahtialuksia, kaasulaivoja, jäähdytysaluksia ja ro-ro -aluksia. Offshore-puolen käyttöjä dieselmoottoreille ovat esimerkiksi öljynporauslautat, ankkurinkäsittelyalukset sekä monitoimi- ja tutkimusalukset. Myös suuremman yleisön tuntemilla matkustaja-aluksilla kuten risteilijöillä, matkustajalautoilla ja huvijahdeilla käytetään dieselmoottoreita. (ShipInsightin www-sivut 2019.)

Dieselmoottorit voidaan jaotella kaksi- ja nelitahtisiin sekä hidas-, keskinopea- ja nopeakäyntisiin moottoreihin. 1930-luvulle asti merimoottorit olivat poikkeuksetta nelitahtimoottoreita ja kulkivat tislatuilla polttoaineilla. Tänä päivänä yleisempää on käyttää polttoaineena öljynjalostuksen jäännöstuotetta, niin kutsuttua HFO:a (heavy fuel oil), ja valtavat kaksitahtimoottorit ovat vallanneet markkinaosuutta. Kaksitahtimoottoreiden parempi teho/paino -suhde on varustamoille houkuttelevin vaihtoehto suurille valtamerialuksille. Tämä siitäkin huolimatta, että ne aiheuttavat enemmän päästöjä. Globaalien ennusteiden mukaan kaksitahtimoottoreiden valta-asema pysyy tulevaisuudessaakin. (ShipInsightin www-sivut 2019; Transparency Market Researchin www-sivut 2019.)



Kuva 2. MAN B&W 7S80ME -C9 hidaskäyntinen kaksitahtimoottori (MAN Energy Solutionsin [www-sivut](#). 2019).

Markkinoille ovat vyöryneet myös keskinopeat nelitahtikoneet. Niitä käytetään useilla laivatyypeillä propulsioon joko akselijohdon välityksellä tai dieselsähköisenä sovelluksena. Nopeakäyntiset dieselmootorit taas ovat harvoin käytössä kaupallisten alusten propulsiossa, mutta niitä käytetään yleisesti laivan sähköntuotantoon. Pienemmillä aluksilla kuten hinaajilla, työveneillä ja lautoilla, nopeakäyntiset dieselmootorit sopivat erinomaisesti myös propulsiokäyttöön. (ShipInsightin [www-sivut](#) 2019.)



Kuva 3. Wärtsilä 31 keskinopea nelitahtimoottori (Wärtsilän www-sivut 2019).

Suurimmat markkinaosuudet suurten kaksitahtisten laivamoottoreiden sektorilla omaa MAN Diesel & Turbo, Mitsubishi sekä Wärtsilä. Wärtsilä tosin on siirtänyt kaksitahtisektorinsa yhteistyökumppanilleen Winterthur Gas & Dieselille (Win GD). Käytössä olevista kaksitahtisista merimoottoreista neljä viidestä on markkinajohtaja MAN Diesel & Turbon valmistamia, toiseksi suurin valmistaja on Wärtsilä ja pienimpänä Mitsubishi. (ShipInsightin www-sivut 2019.)

Wärtsilä on kunnostautunut erityisesti keskinopeiden merimoottoreiden markkinoilla. Wärtsilän moottoreita on lähes puolet maailmalla käytössä olevista keskinopeista merimoottoreista. MAN Diesel & Turbolla markkina-alue on noin neljäsosa ja Caterpillar (MaK) hallitsee loppukenttää. (ShipInsightin www-sivut 2019.)

Pienten alusten propulsioon ja suurempien laivojen sähköntuotantoon käytettyjen nopeakäyntisen dieselmootoreiden valmistajakirjo on edellä mainittuja huomattavasti

laajempi, valmistajia, eri malleja ja teholuokkia on valtavasti. (ShipInsightin www-sivut 2019.)

Vaikka valtaosa laivojen polttomoottoreista on dieselmootoreita, ei se tarkoita sitä, että ne pystyisivät käyttämään ainoastaan dieselöljyä polttoaineenaan. Dieselmootorit toimivat Dieselin työkierrolla, josta myös nimi juontaa. Dieselmootoreita on saata- vissa esimerkiksi niin sanottuina dualfuel -mootoreina, joissa polttoaineena voidaan käyttää nestemäistä polttoöljyä tai vaihtoehtoisesti kaasua. Dualfuel -mootorit ovat tähän päivään saakka olleet lähinnä nelitahtimootoreita, mutta kuluttajat ovat osoitta- neet kiinnostusta kaksitahtiversioihinkin, tosin ei kuitenkaan sillä tahdilla kuin aiem- min ennustettiin. (ShipInsightin www-sivut 2019.)

Vuosituhanne vaihteen jälkeen on otettu suuria harppauksia dieseltekniikan saralla, osin lisääntyneiden määräysten ja säännösten vuoksi, osin käyttäjien vaatimuksista pa- remmista moottoreiden hyötysuhteista. Kehitysmarssin johtajana on toiminut common rail -teknologia ja sähköisesti ohjattu polttoaineen syöttö tavallisen nokka-akselikäy- tön sijaan. Mekaanisia koneita ei suinkaan ole vedetty markkinoilta, mutta tilastot osoittavat, että elektroniset ohjatut versiot ohittavat ne suosiossa uusissa tilauksissa.

Common rail -mootoreiden tullessa markkinoille, niiden eduksi kerrottiin koneiden toimivan pienemmällä polttoainemäärillä, niiden sallivan laajemmin erilaisia polttoai- nelatuja, niiden käyvän paremmin matalilla- ja osakuormilla sekä niiden parempi käyttäjähallinta moottorinohjaukseen ja tehoalueisiin. Näiden tekijöiden ansiosta com- mon rail -merimootoreita mainostettiin ”savuttomina” koneina, vaikka tämä ei käy- tännössä kuitenkaan ole totuus. Siihen aikaan ei toki edes tavoiteltu savuttomuutta, mutta nämä elektronisesti ohjatut moottorit ovat tehneet siitä tänä päivänä helpompaa savukaasupäästöjen ollessa kansainvälinen huolenaihe. (ShipInsightin www-sivut 2019.)

Common rail -mootorit eivät suinkaan olleet ainoa kehitysaskel, joka otettiin aikaisin 2000-luvulla. Jo olemassa olevien moottorityyppien kehitys tarkoitti valtavia paran- nuksia moottoreiden tehopainosuhteisiin ja valmistajien sylinterikansien ja palotilojen uudelleensuunnittelut johtivat myös pienempiin polttoaineen kulutuksiin. Myös turbo-

ahtimia kehitettiin ja niidenkin tehokkuudet paranivat merkittävästi. Tässä ajanjaksoissa nähtiin myös ensimmäiset keskinopeat dualfuel -moottorit, jotka pystyivät käyttämään polttoaineenaan LNG-kaasua tai polttoöljyä. Wärtsilä toimi pioneerinä tällä saralla, moottoreillaan, jotka suunniteltiin käytettäväksi LNG-kuljetusaluksiin. Tänä päivänä suurin osa johtavista konevalmistajista on ottanut mallistoonsa dualfuel -versiot osassa konesarjoistaan. Dualfuel -trendistä poiketen Rolls-Royce päätyi kehittämään moottoreita, jotka toimivat puhtaasti joko dieselillä tai kaasulla. (ShipInsightin www-sivut 2019.)

Modernit, öljyä polttoaineenaan käyttävät dieselmoottorit, sytyttävät polttoaineensa ilman kipinää puristuksella. Dualfuel -moottorit tarvitsevat kuitenkin vaihtoehdoisen sytytyslähteen, silloin kun niitä operoidaan kaasukäytöllä. Wärtsilän dualfuel -moottorit ottavat mallia polttomoottorin toisen esi-isän Nikolaus Otton työkierrosta. Wärtsilän moottoreissa polttoaineena käytettävä kaasu johdetaan jokaisen sylinterin imukanavaan imutahdin aikana, näin saadaan aikaan puhdas esisekoitettu ilma-/kaasuseos moottorin palotilaan. Kaasuseoksen sytytys tapahtuu ruiskuttamalla hyvin pieni määrä dieselöljyä suoraan palotilaan ikään kuin pilottipolttoaineena, ja näin kaasuseos saadaan syttymään puristuksesta kuten tavallisessakin dieselmoottorissa. (ShipInsightin www-sivut 2019.)

Dieseltekniikan kehitys jatkuu edelleen ja tulossa on moottoreita, joissa voidaan käyttää polttoaineena LPG:a, metanolia tai nestekaasua. Kansainväliset markkinat merenkulun dieselmoottoreille ovat olleet kasvusuhdanteessa. Osin syynä lisääntyneeseen kysyntään on alati kasvava paine päästöjen vähentämiseen. Merenkulussa keskitytään nyt vaihtoehdoisten polttoaineiden käytön lisäksi sellaisten dieselmoottoreiden kehittämiseen, jotka käyttävät vähemmän polttoainetta samalla tuottaen suurempia tehoja. Useimmiten kehitys tapahtuu valmistajan sisäisesti mutta yhteistyötutkimuksia on myös tehty. Parhaana esimerkkinä EU-rahoitteisen Hercules-hanke, joka käynnistyi vuonna 2002. Hercules on lyhennelmä sanoista: High-efficiency Engine R&D in Combustion with Ultra-Low Emissions for Ships. (ShipInsightin www-sivut 2019: Transparency Market Researchin www-sivut 2019.)

## 4 OPINTOJAKSO

Varsinainen oppimateriaali on koottu tämän työn liitteeksi. Opintomateriaali koostuu yhdeksästä osiosta, jotka käsittelevät dieseltekniikkaa laajasti ja kattavasti. Dieseltekniikan ollessa vahtikonemestari-tason opintojakso, materiaali ei kuitenkaan mene liian syvälle yksityiskohtiin. Opintojakson jälkeen opiskelija tuntee dieselmootoreiden toimintaperiaatteen, rakenteen, toiminnan ja käytön sekä tyypilliset häiriötilanteet, pysyy käynnistämään aluksen moottorit sekä suoriutumaan käynninvalvonnasta sekä huolto- ja kunnossapitotehtävistä. Materiaali on jaettu seuraaviin osioihin:

### 1. Dieselmootoreiden historiaa

Tässä osiossa opiskelija tutustutetaan karkeasti dieselmootoreiden historiaan dieselmootorin synnystä ensimmäisiin kehitysaskeliin ja käyttöihin merenkulun saralla.

### 2. Dieselmootoreiden luokittelu

Tämä osio kertoo opiskelijalle mihin dieselmootoreita käytetään laivoissa, eri moottorityyppien soveltuvuuksista eri alustyyppisiin ja miten dieselmootorit voidaan jakaa eri luokkiin.

### 3. Dieselmootoreiden toimintaperiaatteet ja perusteet

Tässä osiossa esitellään eri moottorityyppejä, niiden eroavaisuuksia ja toimintaperiaatteita. Käsiteltäviä asioita on kaksi- ja nelitahtimoottorit, hidas-, keskinopea- ja nopeakäyntiset moottorityypit ja common rail- moottorit

### 4. Dieselmootoreiden rakenne

Osio esittelee dieselmootoreiden perusrakenteen, moottorin keskeisimmät komponentit kuvilla havainnollistettuna ja tärkeää terminologiaa.

### 5. Turboahtaminen

Tässä osiossa perehdytään dieselmootoreiden ilman tarpeeseen ja eri metodeihin tarvittavan ilmamäärän saavuttamiseksi. Tutustutaan turbojen rakenteisiin ja ahtamisen perusteisiin.

### 6. Polttoainejärjestelmät

Osiossa käydään läpi dieselmootorin sisäinen polttoaineenkierto ja polttoaineen ruiskutus, sekä koko polttoainejärjestelmä aina polttoainetäydennyksistä polttoaineen varastointiin, puhdistukseen ja käyttökuntoon saattamiseen asti.

### **7. Apulaitteistot**

Apulaitteisto-osiossa opiskelija tutustutetaan dieselmoottorin toiminnalle välttämättömiin tai olennaisiin apulaitteistoihin. Näitä ovat polttoainenkäsittelyjärjestelmä, voiteluöljyjärjestelmä sekä jäähdytysjärjestelmä.

### **8. Moottoreiden operointi ja hallinta**

Opiskelijalle kerrotaan dieselmoottoreiden käynnistykseen liittyvät toimenpiteet. Käsitellään moottorille tarvittavat valmistelut ja käynnin kannalta välttämättömien apulaitteistojen valmisteleminen käyntikuntoon. Käydään läpi käynnistämisen jälkeinen käynninvalvonta sekä dieselmoottorin operointiin ja hallintaan liittyviä seikkoja.

### **9. Dieselmoottoreiden häiriötilanteet, huolto ja korjaus**

Osio käsittelee dieselmoottoreiden huoltoa ja kunnossapitotoimia. Käydään läpi moottoreiden yleisimmät huoltotoimenpiteet ja kunnossapitoon liittyviä seikkoja. Käsitellään dieselmoottoreiden vikatilanteita, sekä käynninvalvojan tehtäviä. Moottoreiden kirjon ollessa niin laaja, keskitytään tässä osiossa vain kaikille yhteisiin, kaikkein yleisimpiin häiriötilanteisiin.

## **5 YHTEENVETO**

Opintojakson sisältö luotiin vastaamaan STCW-vaatimuksia ja siinä kiinnitettiin erityisesti huomiota opiskelijoiden tarpeisiin tulevaisuuden työelämää ajatellen. Työstä tuli kattava tietopaketti dieseltekniikkaan, joka antaa opiskelijalle laajan tietoperustan aina dieseltekniikan alkuvaiheista tämän päivän innovaatioihin. Materiaali auttaa opiskelijaa ymmärtämään paremmin miksi dieselmoottorit ovat saavuttaneet dominoivan markkina-aseman merenkulussa, miten dieselmoottorit toimivat ja mitä ovat dieselmoottorin apulaitteistot ja miksi niitä tarvitaan. Oppimateriaaliin sisällytettiin laajasti teoriaa dieselmoottoreista ja niiden apulaitteistoista, mutta myös käytännön tietoa moottoreiden huollosta, käytöstä ja käynninvalvonnasta.

Vaikka dieselmoottorit kehittyvät alati ja kilpa uusista innovaatioista ja vieläkin parempien moottoreiden kehittämisestä on kovaa, ei lähitulevaisuudessa ole nähtävillä



korvaajaa dieselmoottorille eikä liioin laskua dieselmoottoreiden suosiossa. Näin ollen ei ole myöskään odotettavissa toimintaperiaatteiden dramaattisia muutoksia, ja juuri siitä syystä tämä työ pysyy ajantasaisena ja sitä voidaan käyttää opetustarkoituksissa pitkään.

Työ oli erityisen opettavainen myös tekijälleen. Työskenneltyäni jo vuosia dieselmoottoreiden parissa, oli hämmästyttävää, kuinka paljon sain ammennettua uutta oppia ja tietoa myös itselleni tätä työtä tehdessä. Opinnäytetyön aihe osoittautuikin siis erinomaiseksi, ja olen tekemääni työhön varsin tyytyväinen. Toivon työstä olevan apua opettajille ja oppilaille vuosiksi eteenpäin.

## LÄHTEET

MAN Energy Solutionsin www-sivut. 2019. Viitattu 6.4.2019. <https://marine.man-es.com>

Satakunnan ammattikorkeakoulun www-sivut. 2019. Viitattu 4.4.2019. <https://www.samk.fi/>

ShipInsightin www-sivut. 2019. Viitattu 6.4.2019. <https://www.shipinsight.com>

Suomen Merimies-Unionin www-sivut. 2019. Viitattu 4.4.2019. <https://www.smu.fi>

Tieteen Kuvalehden www-sivut. 2019. Viitattu 5.4.2019. <https://www.tieku.fi>

Transparency Market Researchin www-sivut. 2019. Viitattu 6.4.2019. <https://www.transparencymarketresearch.com>

Wärtsilän www-sivut. 2019. Viitattu 6.4.2019. <https://www.wartsila.com>

## SISÄLLYS

1	DIESELMOOTTOREIDEN HISTORIAA .....	4
1.1	Otto cycle .....	5
1.2	Diesel cycle .....	6
1.3	Rivi- ja V-moottorit .....	6
2	DIESELMOOTTOREIDEN LUOKITTELU .....	7
2.1	Kategoriat .....	7
2.2	Tyypit .....	7
2.2.1	Uppomäntämoottorit .....	8
2.2.2	Ristipäämoottorit .....	8
2.3	Kaksi- vai nelitahti? .....	8
3	DIESELMOOTTOREIDEN TOIMINTAPERIAATE JA PERUSTEET .....	8
3.1	Kaksitahtiset dieselmoottorit .....	8
3.2	Nelitahtiset dieselmoottorit .....	9
3.3	Merkittäviä eroja kaksi- ja nelitahtimoottoreiden välillä .....	11
3.4	Kierrosnopeudet .....	12
3.4.1	Hidaskäyntiset dieselmoottorit .....	12
3.4.2	Keskinopeat dieselmoottorit .....	12
3.4.3	Nopeakäyntiset dieselmoottorit .....	13
3.5	Sylinterien numerointi .....	13
3.6	Vapaasti hengittävät ja turboahdetut moottorit .....	13
3.7	Muita ominaisuuksia .....	14
3.8	Termejä ja määritelmiä .....	14
4	DIESELMOOTTOREIDEN RAKENNE MOOTTORILUOKITUKSEN MUKAAN .....	15
4.1	Kategoria I .....	15
4.2	Kategoria II .....	17
4.3	Kategoria III .....	19
4.4	Kategoria IV .....	22
4.5	Ajolaitteisto .....	26
4.5.1	Ajolaitteisto nelitahtimoottoreissa .....	26
4.5.2	Ajolaitteisto kaksitahtisissa ristipäämoottoreissa .....	32
5	MOOTTORIN TULOILMA JA AHTAMINEN .....	36
5.1	Ilman määrä .....	36

5.2	Ilman jäähdytys .....	38
5.3	Pienet turboahtimet .....	39
5.4	Suuret turboahtimet.....	40
5.5	Waste-gate.....	40
5.6	By-pass venttiili .....	41
6	<b>POLTTOAINE, POLTTOAINEJÄRJESTELMÄT JA POLTTOAINEEN PUHDISTUS .....</b>	<b>41</b>
6.1	Nestemäisten polttoaineiden rakenne .....	42
6.2	Raskaan polttoöljyn määritelmä .....	43
6.3	Nestemäisten polttoaineiden standardisointi.....	43
6.4	Rikkipitoisuuden laskeminen polttoaineissa.....	44
6.5	Alusten polttoainejärjestelmät .....	45
6.6	Polttoaineen varastointi.....	45
6.7	Huomioitavaa polttoaineista .....	46
6.8	Polttoainejärjestelmät moottoriluokituksen mukaan.....	46
	6.8.1 Kategorian I dieselmoottorit.....	46
	6.8.2 Kategorian II dieselmoottorit .....	47
	6.8.3 Kategorian III ja IV dieselmoottorit .....	47
6.9	Polttoaineen ruiskutus.....	49
	6.9.1 Common rail -järjestelmä .....	49
6.10	Ruiskutuksen vaiheet .....	52
7	<b>APULAITTEISTOT.....</b>	<b>53</b>
7.1	Polttoaineenkäsittelyjärjestelmät .....	53
	7.1.1 Polttoaineen automaattisuodatin.....	54
	7.1.2 Viskometri 56	
7.2	Moottoreiden jäähdytysjärjestelmät.....	57
	7.2.1 Moottoreiden jäähdytysaineet .....	59
	7.2.2 Meriveden käyttö jäähdytyksessä.....	59
	7.2.3 Makeanveden käyttö jäähdytyksessä.....	60
	7.2.4 Voiteluöljyn käyttö jäähdytyksessä.....	61
	7.2.5 Ilman käyttö jäähdytyksessä.....	62
	7.2.6 Levylämmönvaihtajat .....	62
	7.2.7 Huomioita jäähdytysvesijärjestelmistä.....	62
7.3	Moottoreiden voiteluöljyjärjestelmät.....	64
	7.3.1 Voitelun tarkoitus .....	64
	7.3.2 Voitelutavat 64	
	7.3.3 Komponentit, jotka tarvitsevat voitelua .....	65
	7.3.4 Voiteluöljyjärjestelmä .....	66

8	MOOTTOREIDEN OPEROINTI JA HALLINTA .....	67
8.1	Dieselmoottoareiden automaatio .....	67
8.2	Moottorin operointi .....	68
8.3	Konehälytykset .....	68
8.3.1	Wärtsilä WECS .....	68
8.4	Moottorin käynnistys .....	69
8.5	Moottorin pysäytys .....	72
8.6	Automaatio.....	72
8.7	Valvonta.....	72
8.8	Pyörimisnopeuden ja tehon säätö.....	74
9	DIESELMOOTTORIN HUOLTO JA KORJAUS .....	74
9.1	Ohjekirjat .....	75
9.2	Moottorin huolto .....	76
9.3	Hydraulityökalut .....	77
9.4	Kategorian I moottorin huoltotoimenpiteitä .....	79
9.5	Luotettavuus.....	79
	LÄHTEET.....	81

## 1 DIESELMOOTTOREIDEN HISTORIAA

Saksalainen insinööri Rudolf Diesel kehitti teorian moottorista, jonka toiminta perustui lämpötilan erittäin nopeaan kohottamiseen moottorissa kovan paineen vaikutuksesta. Dieselin laskelmien mukaan tämä saisi polttoaineen syttymään ilman erillistä kipinää. Vuonna 1893 hän teki julkaisun uusista ideoistaan, ja vuoden 1893 helmikuussa hän sai patentin ”uudelle järkiperaiselle lämpövoimakoneelle”. Diesel solmi Augsburgilaisen moottoritehtaan kanssa sopimuksen helmikuussa 1893 ja maailman ensimmäisen dieselmoottorin rakentaminen alkoi.

Diesel teki ensimmäisen moottoriversion käyttötestin 10. elokuuta 1893 saksalaisessa Augsburgin moottoritehtaassa, Moottori oli lähes kolme metriä korkea ja moottorin tehon piti olla viisi hevosvoimaa. Moottori ei kuitenkaan kestänyt polttoaineen syttymistä ja ensimmäinen koe päättyi räjähdykseen ja moottorin hajoamiseen kappaleiksi. Kukaan ei vahingoittunut ja teoria polttoaineen sytyttämisestä ilman kipinää osoittautui mahdolliseksi. Kehitystyö jatkui ja viiden kuukauden kuluttua ensimmäisestä testistä moottori kävi minuutin. Moottori ei kuitenkaan käynyt riittävän vakaasti.

Diesel jatkoi kehitystyötä ja vuonna 1895 moottori toimi luotettavasti ja tuotti ulos siihen aikaan ennätyselliset 25 hevosvoimaa. Ensimmäinen koevaihe päättyi tammi-kuussa 1897. Diesel oli kehittänyt moottorin, joka oli neljä kertaa niin tehokas kuin käytössä olleet höyrykoneet ja peräti kaksi kertaa niin tehokas kuin muut polttomoottorit. Rudolf Diesel oli valmistanut ensimmäisen toimivan dieselmoottorin.

Diesel tarvitsi kehittämälleen moottorille laatuhyväksynnän, joten hän pyysi Münchenin yliopiston professoria tekemään lopullisen käyttöönottestin. Professori oli hyvin vaikuttunut näkemästään, ja kutsuikin Dieselin moottoria tulevaisuuden moottoriksi, joka myöhemmin on osoittautunut varsin paikkaansa pitäväksi. Dieselmoottori oli suuri menestys ja siihen onkin tehty vain muutamia muutoksia vuoden 1897 jälkeen. Koneen valmistuslisenssejä myytiin suuret määrät ja ensimmäinen dieselmoottori pääsi pian teolliseen käyttöön saksalaiseen tulitikkuja valmistavaan tehtaan.

Skandinaavit olivat ensimmäiset merenkulussa dieselmoottoria hyödyntävät. Vuonna 1909 tanskalainen Itä-Aasian kauppakomppania tilasi Kööpenhaminan B&W -telakalta ensimmäisen valtamerilaivan, joka kulki dieselmoottorilla. Alus, joka nimettiin Selandiaksi, valmistui 4.11.1911 ja lähti ensimmäiselle matkalleen kolme kuukautta tämän jälkeen. Matka oli onnistunut ja huima menestys: alus oli höyrylaivoja nopeampi, halvempi ja huoltovapaampi. Samoihin aikoihin ruotsalainen AB Diesel Motorer rakensi moottorin norjalaiseen alukseen ja ihminen pääsi ensimmäistä kertaa etelänvalle.

Läpi viime vuosisadan dieselmoottoreista on tullut aina tärkeämpiä ja tärkeämpiä. Nykypäivänä yhteiskunta tukeutuu pitkälti koneistoihin. Luoden liikkumisvoimaa ja sähköenergiaa, moottorit ovat välttämättömiä tavara- ja ihmiskuljetuksissa niin teillä, rautateillä kuin merilläkin. Tässä opintomateriaalissa käsittelemme teollisia dieselmoottoreita, jotka tuottavat propulsiovoimaa valtavalle arsenaalille erilaisia aluksia, sekä sähköenergiaa dieselvoimalaitoksissa.

Polttomoottoreilla on kaksi pääasiallista toimintatapaa, Otto cycle sekä äsken mainittu Diesel cycle.

## 1.1 Otto cycle

Vuonna 1876 vuosien työn jälkeen Nicolaas August Otto kehitti ensimmäisen nelitahtimoottorin. Nelitahtimoottori tekee neljä männän iskua kahta kampiakselin täyttä kierrosta kohden. Otto cycle -moottoreissa ilma ja polttoaineseos puristetaan, ja sytytystulppa tuottaa sytytyskipinän oikealla hetkellä polttoaineseoksen sytytykseen ja polttamiseen. Yleisimmin käytettyjä sovellutuksia tälle moottorityypille ovat työkalut ja puutarhavälineet kuten moottorisahat ja ruohonleikkurit, autoteollisuus, veneiden perämoottorit, kaasumoottorit ja pienemmät ilmailualukset. Tätä työkiertoa ei käsitellä tässä opintojaksossa, vaan pääpainona ovat Diesel cyclea käyttävät moottorit

## 1.2 Diesel cycle

Vuonna 1897 Rudolf Diesel toi markkinoille ensimmäisen dieselmoottorin. Dieselmoottoreissa sylinterissä oleva ilma puristetaan kasaan niin, että ilman lämpötila kohoaa erittäin suureksi. Tästä seuraava lämpö sytyttää polttoaineen nopeasti, joka saa sylinteriin ruiskutetun polttoaineen palamaan. Diesel cyclen tehokkuus on parempi kuin Otto cyclen, joka on johtanut dieselmoottoriteollisuuden valtavaan laajenemiseen. Kokonaishyötysuhde polttomoottoreilla on tuotetun akselitehon ja syötetyn polttoaineen tehon suhde. Tämä vaihtelee 25-50% välillä, riippuen moottorin koosta. Dieselmoottoreita käytetään tänä päivänä muun muassa laivojen propulsiossa, dieselvoimalaitoksissa, maataloudessa, varageneraattoreina, rekka-autoissa, maanmuokauskoneissa sekä sotilasajoneuvoissa kuten panssarivaunuissa.

## 1.3 Rivi- ja V-moottorit

V-moottorin etuna on sen lyhyt pituus verrattuna rivimoottoriin, tuottaen kuitenkin saman tehon. On selvää, että 18 sylinterinen V-moottori vie huomattavasti vähemmän tilaa kuin kaksi yhdeksän sylinteristä rivimoottoria. Moottoriteollisuus pyörii pitkälti taloudellisuuden ympärillä. V-moottoreiden pääomakustannukset ovat huomattavasti alhaisemmat, kuin vastaavan sylinterimäärän rivimoottoreissa. V-moottoreita käytetään yleisimmin dieselvoimalaitoksissa, kun taas meriympäristössä suositetaan rivimoottoreita propulsioon.

Mitä tulee koneiden komponentteihin, ovat V-moottorit ja rivimoottorit yleensä identtisiä. Kannot, männät ja sylinteriputket ovat usein täysin samoja. Männän iskunpituus on V-moottoreissa lyhyempi kuin rivimoottoreissa, koska V-moottorilohkon muotoilun vuoksi siinä ei ole tilaa yhtä pitkiin iskunpituuksiin kuin rivimoottoreissa. Koska isku on lyhyempi, kierroslukua voidaan lisätä. Tämä johtaa siihen, että männän liikkumisnopeus on sama.

Huollon kannalta rivimoottoreiden etuna on, että ne ovat horisontaalisesti purettavissa ja koottavissa. Komponenttien kuten sylinterikansien, mäntien, kiertokankien ja



sylinteriputkien ulos vetäminen sekä kokoaminen on rivimoottoreissa nopeampaa ja suoraviivaisempaa.

## 2 DIESELMOOTTOREIDEN LUOKITTELU

Dieselmoottorit voidaan jakaa neljään kategoriaan, joihin tässä materiaalissa tullaan myöhemmin viittaamaan.

### 2.1 Kategoriat

Kategoria I:

Nopeakäyntiset nelitahtimoottorit 100 kW akselitehoon asti. Tyypillinen kierrosluku on 1500-3000 rpm. Polttoaineena dieselöljy.

Kategoria II:

Nopeakäyntiset nelitahtimoottorit teholtaan 100-10 000 kW. Kierrosluku yleensä 960-2100 rpm. Polttoaineena dieselöljy.

Kategoria III:

Keskinopeat nelitahtimoottorit teholtaan 500-30 000 kW. Kierrosluvut 400-1000 rpm. Polttoaineena raskas polttoöljy tai dieselöljy.

Kategoria IV:

Hidaskäyntiset kaksitahtiset ristipäämoottorit teholtaan 1500 kW aina 100 000 kW asti. Kierrosluvut 50-200 rpm. Polttoaineena raskas polttoöljy.

### 2.2 Tyypit

Tässä työssä käsiteltävät nelitahtiset dieselmoottorit ovat uppomäntämoottoreita ja kaksitahtiset ristipäämoottoreita.

### 2.2.1 Uppomäntämoottorit

Uppomäntämoottorit ovat nelitahtimoottoreita, joissa kiertokanki on laakeroitu kampiakseliin sekä männäntappiin. Moottori on varsin matala verraten ristipäämoottoreihin. Männät neutraloivat syntyvät lateraaliset voimat ja siirtävät ne sylinteriputkeen sekä moottorin runkoon.

### 2.2.2 Ristipäämoottorit

Ristipäämoottoreissa männänvarsi on kiinnitetty mäntiin pulteilla. Ristipääkappale on sijoitettu männänvarren alapuolelle, joka taas on laakeroitu kiertokankeen. Poikittaisvoimat kiertokankimekanismista siirtyy liukukenkiin, jotka ovat kiinnitetty moottorin runkoon liukujohteilla.

### 2.3 Kaksi- vai nelitahti?

Valinta siitä, käytetäänkö kaksitahtista ristipäämoottoria vai nelitahtisia uppomäntämoottoria on monen tekijän summa. Valinta riippuu monista asioista, mainittavia tekijöitä ovat muun muassa tarvittava moottorin teho, haluttu kierrosnopeus, aluksessa käytettävissä oleva tila, moottorin suurin sallittu paino, poltto -ja voiteluaineiden laatu ja kulutus, taloudelliset seikat eli hinta ja ylläpitokustannukset, uudisrakennustelakan toimitus- ja asennusmahdollisuudet, moottorin toimitusaika sekä huolto- ja kunnossapitosopimukset.

## 3 DIESELMOOTTOREIDEN TOIMINTAPERIAATE JA PERUSTEET

### 3.1 Kaksitahtiset dieselmoottorit

Koko työkierto tapahtuu yhden kampiakselin kierroksen aikana, jolloin mäntä tekee kaksi iskua. Tätä toimintaperiaatetta käytetään yleensä pienissä, tai vaihtoehtoisesti

todella suurissa dieselmootoreissa. Pienet moottorit ovat usein käytössä generaattoreina tai pumpuissa. Todella suuret moottorit puolestaan ovat käytössä laivojen propulsiossa sekä dieselvoimalaitoksissa. Jäljempänä mainitut suuret kaksitahtimoottorit ovat poikkeuksetta ristipäämootoreita. Koska kaksitahtiset uppomäntämoottorit ovat äärimmäisen harvinaisia nykypäivänä, käsitellään tässä materiaalissa vain kaksitahtisten ristipäämootoreiden toimintaperiaatetta.

Ristipäämootoreissa voimat, jotka liikuttavat mäntää siirretään ristipäähän mäntään kiinnitetyn männänvarren välityksellä. Ristipää toimii yhdistekohtana männän varren ja kiertokangon välillä, joka on laakeroitu kampiakseliin. Lateraaliset voimat ”imeytyvät” ristipäähän, ja ne siirretään kiertokankeon liukujohteiden välityksellä. Liukujohteet ovat kiinnitettyinä moottorin runkoon.

Kaksitahtimoootoreissa on kaksi vaihtoehtoista tapaa kaasunvaihtoon.

Tapa 1: Imu- ja pakoportit sylinteriputkessa.

Imu- ja pakoporttien ollessa sylinteriputkessa, on kyse yleensä pienemmistä esim. työkaluissa ja veneiden perämootoreissa käytettävistä moottoreista. Etuna tässä konfiguraatiossa on yksinkertainen ja kevyt rakenne. Suurin osa näistä moottoreista toimii Otto cyclella. Tällä periaatteella toimivia suurempia moottoreita valmistetaan vain joidenkin amerikkalaisten moottorinvalmistajien toimesta. Kuitenkin vanhat, perinteiset kaksitahtiset ristipäämoottorit olivat myös tätä toimintaperiaatetta mukailevia. Näitä moottoreita on edelleen käytössä, mutta ei enää valmistuksessa.

Tapa 2: Imuportit sylinteriputken alaosassa ja pakoventtiili sylinterikannen keskellä. Kaikki modernit ristipäämoottorit rakennetaan niin, että imuportit sijaitsevat sylinteriputken alaosassa ja yksi pakoventtiili sylinterikannen keskellä.

### 3.2 Nelitahtiset dieselmootorit

Koko nelitahtimoottorin työkierto tapahtuu kampiakselin kahden kokonaisen kierroksen aikana, jolloin mäntä tekee neljä iskua. Tätä periaatetta käytetään nopeakäynti-

sissä ja keskinopeissa dieselmootoreissa. Nelitahtimoottorit ovat käytössä propulsi-oon niin pienissä kuin isoissakin aluksissa aina 30 000 kW asti, sekä varageneraattoreina ja generaattoreina. Kun kyseessä ovat teolliset dieselmootorit, nelitahtimoottoreita valmistetaan kaksitahteihin verrattuna huomattavasti enemmän.

Nelitahtimoottorit tarvitsevat aina vähintään yhden imuventtiilin sekä yhden pakoventtiilin. Tänä päivänä useimmissa nelitahtimoottoreissa on kaksi imuventtiiliä sekä kaksi pakoventtiiliä yhdessä sylinterikannessa. Tämä parantaa kaasunvaihtoa ja tarkoittaa sitä, että venttiilit avautuvat lyhyemmän matkan sallien paremman puristus-suhteen.

Moottorin lohkoissa on sylinteriputki, jossa mäntä tekee ylösalaista liikettä lineaarisesti. Mäntä on kiinnitetty männäntapilla kiertokankeen, joka taas on kiinnitetty kiertokangen alapäänlaakerin välityksellä kampiakseliin.

Kun mäntä on saavuttanut sylinteriputkessa sen korkeimman mahdollisen kohdan, männän ylöspäin suuntautuva liike pysähtyy. Tätä pistettä kutsutaan termillä TDC (top dead centre) eli yläkuolokohta. Vastaavaa männän alinta saavuttamaa kohtaa kutsutaan termillä BDC (bottom dead centre) eli alakuolokohta.

Nelitahtimoottorin tahdit:

Imutahti:

Männän alaspäin suuntautuvan tahdin aikana molemmat imuventtiilit ovat auki ja ilma virtaa sylinteriin ylipaineella. Molemmat imuventtiilit sulkeutuvat, kun mäntä on lähes alakuolokohdassaan.

Puristustahti:

Ylöspäin suuntautuvan tahdin aikana sylinterissä oleva ilma puristuu, puristuneen ilman lämpötila ja paine kasvavat merkittävästi.

Palamistahti eli työtahti:

Juuri ennen kuin mäntä saavuttaa sen yläkuolokohdan, ruiskutetaan kuumaa ilmaa sisältävään sylinteriin polttoainetta erittäin kovalla paineella ruiskutus-suuttimella.

Kuuma ilma/polttoaineseos syttyy äkillisesti, joka lisää painetta ja lämpötilaa sylinterin sisällä. Männän alaspäin suuntautuvan liikkeen aikana muodostuneet kaasut laajenevat sylinterissä ja siirtävät voiman mäntään. Tämä voima siirretään kampiakseliin kiertokangen välityksellä.

Poisto:

Ennen työtahdin päättymistä pakovoventtiilit aukeavat ja pakokaasut virtaavat ulos sylinteristä. Männän kulkiessa ylöspäin poistotahdinaikana suurin osa pakokaasuista häviää. Jälkeenpäin nelitahtikierto alkaa uudelleen imutahdilla.

### 3.3 Merkittäviä eroja kaksi- ja nelitahtimoottoreiden välillä

Vain sellaisissa tapauksissa, joissa tarvitaan erittäin suurta konetehoa, käytetään kaksitahtimoottoreita. Nämä ovat poikkeuksetta hidaskäyntisiä ristipäämoottoreita, jotka käyttävät aluksen potkuria suoraan potkuriakselin välityksellä tai vaihtoehtoisesti toimivat generaattoreina.

Kaksitahtikierrossa tapahtuu syttyminen jokaisella kiertokangen kierroksella, kun nelitahdissa syttyminen tapahtuu joka toisella kierroksella. Teoriassa kaksitahtimoottoreiden, joilla on sama sylinterikapasiteetti ja kierrosluku kuin nelitahtimoottorilla, pitäisi antaa ulos kaksinkertainen teho nelitahtiseen verrattuna.

Kaksitahtikierrossa pakokaasut virtaavat ulos sylinteristä ylipaineessa samalla hetkellä, kun mäntä liikkuessaan vapauttaa sylinteriputkessa sijaitsevan imuportin käyttöön. Sylinteriin toimitettavassa ilmassa tarvitsee olla korkeampi paine pakokaasujen paineeseen verrattuna, muuten pakokaasut virtaavat takaisin sylinteriin. Suuremmissa kaksitahtimoottoreissa on kiertokankikäyttöinen huuhteluilmapumppu huuhteluilman tuottamiseksi. Teollisissa dieselmooottoreissa huuhteluilma toimitetaan aina turboahhti-men välityksellä.

Nelitahtimoottorissa kaikki vaiheet toteutetaan männän välityksellä:

- Imu
- Puristus

- Työ
- Pako

Tämä on yksinkertaisempi toteutustapa. Lisäksi pakokaasut saadaan paremmin poistettua ja näin ollen prosessi on puhtaampi. Nelitahtimoottori ei välttämättä tarvitse erillistä laitteistoa tarvittavan ilman tuottamiseen, vaikkakin suurin osa nykyaikaisista nelitahtimoottoreista ahdetaan pakokaasukäyttöisellä turboahtimella tämän lisäessä merkittävästi moottorista ulos saatavaa tehoa.

### 3.4 Kierrosnopeudet

Koneteollisuudessa on edelleen kierrosluvun mittayksikkönä varsin yleisesti käytössä rpm (revolutions per minute) eli kierroksia minuutissa. Nykyajan teknologisessa teollisuudessa taas ilmoitetaan maksimaaliset sallitut käyttönopeudet taajuutena eli kierrosten määränä sekunnissa, yksikkönä Hz.

#### 3.4.1 Hidaskäyntiset dieselmoottorit

Hidaskäyntisissä kaksitahtimoottoreissa suurimmat kierrosluvut ovat 240 rpm tai taajuutena ilmoitettuna neljä kierrosta sekunnissa. Kyseessä ovat suurikokoiset ja raskaat ristipäämoottorit, joiden pääasiallinen käyttö on propulsiovoiman tuottaminen suurille tankkereille ja konttilaivoille. Hidaskäyntisiä moottoreita valmistaa markkinoille vain kolme valmistajaa. Sylinterin poraukset vaihtelevat 260 mm-1080 mm välillä. MAN-moottorivalmistajan neljäntoista suurihalkaisijaisen sylinterin omaava kaksitahtimoottori tuottaa akselivoimaa peräti 97 300 kW. Tämän moottorin kuivapaino on 2300 tonnia, se on 28 metriä pitkä ja 14 metriä korkea.

#### 3.4.2 Keskinopeat dieselmoottorit

Keskinopeiden moottoreiden kierrosluvut ovat 240-960 rpm, tai taajuutena ilmoitettuna 4-16 kierrosta sekunnissa (Hz). Nämä ovat yleensä uppomäntämoottoreita, jotka käyttävät nelitahtista toimintaperiaatetta. Keskinopeita dieselmoottoreita on

löydettävissä useissa käytöissä, muun muassa laivojen propulsiossa, sähköntuotannossa ja erilaisten koneistojen voimanlähteinä. Valmistajia on useita, aivan kuten mallejakin. Sylintereiden halkaisijat vaihtelevat karkeasti 200-580mm välillä. Suurimmat akselitehot ovat noin 30 000 kW.

### 3.4.3 Nopeakäyntiset dieselmoottorit

Nopeakäyntisten dieselmoottoreiden kierrosluvut ovat aina yli 960 rpm tai taajuus yli 16 kierrosta sekunnissa (Hz). Teollisuuskäytössä olevien moottoreiden kierrosluvut ovat usein hieman yli 2000 rpm. Valmistajia ja malleja on useita. Sylintereiden halkaisijat vaihtelevat 40-300mm välillä. Suurin akseliteho nopeakäyntisillä dieselmoottoreilla on noin 10 000 kW.

### 3.5 Sylinterien numerointi

Sylinteri #1 on yleisimmin määritelty olevan vauhtipyörän päädyistä katsottuna ensimmäinen sylinteri, eli laivan peräpäästä katsottuna sylinteri #1 on ensimmäinen sylinteri. Sylinterien numerointi kasvaa yksitellen keulaa kohden. Yleistyksestä huolimatta, on aina tärkeää varmistua asiasta kyseessä olevan moottorin ohjekirjasta. Tämä numerointi pätee myös V-moottoreihin, joissa usein tämän lisäksi moottorin toisistaan vastakkaiset puolet ovat nimetty A ja B -puoliksi.

### 3.6 Vapaasti hengittävät ja turboahdetut moottorit

Vapaasti hengittävä:

Kun on kyseessä moottori, joka imee ilmaa vain männän liikkuessa, kutsutaan sitä vapaasti hengittäväksi. Ilma kulkeutuu sylintereihin hieman atmosfääristä painetta matalammalla paineella. Tämä on mahdollista vain nelitahtimoottoreissa.

Turboahdettu:

Kun moottorin ilmansyöttö on suurempi kuin atmosfäärinen paine, kutsutaan tätä turboahdetuksi. Imuilma on puristettu ja se syötetään moottoriin pakokaasukäyttöisen

turboahtimen välityksellä. Turboahtimen käyttö on kaksitahtimoottorin toiminnan kannalta pakollista, ja se on varsin usein käytetty metodi myös nelitahtimoottoreissa. Turboahdetusta moottorista saadaan merkittävästi enemmän tehoa, kuin sylinteritilavuudeltaan identtisestä vapaasti hengittävästä moottorista. Kun imuilman määrä kasvaa, voidaan sylinteriin syötettävää polttoainemäärää kasvattaa. Tämä lisää voiman ulostuloa.

### 3.7 Muita ominaisuuksia

Rivimoottorit:

Rivimoottoreissa sylinterit ovat aina kohtisuorassa. Ristipäämoottoreissa yleisin sylinterimäärä on 12, mutta aluksen koon kasvaessa myös 14 ja 16-sylinteriset moottorit tulevat kysymykseen. Näissä tapauksissa moottorin kokonaispituus voi kasvaa jopa 35 metriin asti. Nelitahtisen uppomäntämoottorin sylinteriluku ei yleensä ylitä 10-12 sylinterin määrää, yleisimmän sylinterimäärän ollessa yhdeksän.

V-moottorit:

V-moottoreissa sylinterit ovat 45-120° kulmissa toisistaan. Moottoreiden suurin sylinterimäärä on yleensä 20 sylinteriä, 16-18 sylinteristen ollessa yleisimpiä käytössä olevia moottoreita.

### 3.8 Termejä ja määritelmiä

Piston stroke

Mäntä liikkuu ylä- ja alakuolokohdan välillä. Matka, jonka mäntä kulkee, on männän iskunpituus eli piston stroke. Iskunpituus vaihtelee teollisissa dieselmoottoreissa nelitahtisten uppomäntämoottoreiden noin 60-680mm liikkeestä aina kaksitahtisen ristipäämoottoreiden 4000mm liikkeeseen asti.

Cylinder bore

Sylinterin poraus eli cylinder bore on sylinteriputken halkaisija. Sylinterien halkaisijat teollisissa dieselmoottoreissa nelitahtisten uppomäntämoottoreiden tapauksissa ovat noin 40-580mm, ja kaksitahtisen ristipäämoottoreiden aina 980mm asti.



Stroke/Bore ratio

Iskunpituus/halkaisija -suhde vaihtelee +- 0,8 – 1,5 nelitahti uppomäntämoottoreissa ja 2-4 ristipää kaksitahdeissa.

Mean piston speed in meters per second

Merkitsevä männän nopeus metreissä per sekunti on suoraan verrannollinen kierros- lukuun ja iskun pituuteen. Kaksitahti ristipäissä maksimi männän liikkumisnopeus on 6-8,5 m/s ja nelitahtimoottoreissa se vaihtelee 8-12 m/s välillä.

## 4 DIESELMOOTTOREIDEN RAKENNE MOOTTORILUOKITUKSEN MUKAAN

### 4.1 Katgoria I

Nämä melko pienet teolliset dieselmoottorit ovat käytössä monissa eri sovellutuk- sissa, mm. propulsiossa, generaattoreina, pumppujen voimanlähteenä ja useissa työ- ja kuljetuskoneissa maapuolella.

Yleisesti ottaen nämä toimivat nelitahtisella uppomäntämoottori periaatteella. Nyky- aikaisissa moottorimalleissa on yhä useammin kaksi imu- ja pakoventtiiliä sylinteri- kannessa. Tämän kategorian moottoreissa on käytössä paljon modernia teknologiaa, muun muassa common rail -polttoainejärjestelmä. Moottorit ovat usein kokonaisu- dessaan valmistettu kevyestä metallista tai valuraudasta. Tämä tarkoittaa, että sylinte- riputkien kuluessa sylinteri täytyy porata uudelleen ja asentaa ylikokoinen mäntä ja männänrenkaat.

Kampiakseli on kiinni lohossa laakeripesien ja pystysuorien pulttien välityksellä. Tällaisessa tapauksessa nelisylinterisessä moottorissa on viisi laakeria. Rungon poh- jassa on öljypohja, jossa sijaitsee öljypumppu, imusihti ja voiteluöljy.

Kone ei lepää suoraan öljypohjan, vaan konekorvien päällä. Nämä korvat ovat moottorin lohkossa kiinni. Usein rungon alle on vielä asennettu kumityyny, jotka vaimentavat moottorin tärinän ja se ei näin pääse siirtymään ympäristöön.

Usein tämän kategorian moottoreissa on vain yksi kaikille sylinterille yhteinen sylinterikansi lohkon päällä. eikä erillisiä kansia jokaiselle sylinterille kuten isommissa moottoreissa. Isommissa moottoreissa tällainen useamman sylinterin kattava kansi olisi jo pelkästään painonsa takia epäkäytännöllinen.

Tämän kokoluokan moottoreissa on joko yksi tai kaksi imu- ja pakoventtiiliä sylinterissä kaasunvaihtoa varten. Venttiilit ovat mekaanisesti aukeavia ja sulkeutuvia, tämä tapahtuu oikeaan aikaan nokka-akselin, työntötankojen ja keinuivuston välityksellä.

Polttoaine ruiskutetaan palotilaan ruiskutussuuttimella, joka on keskellä sylinterikannta. Polttoaineen ruiskutus toteutetaan korkeapaineisen polttoainepumpun avulla, joka syöttää polttoaineen polttoaineputkistoon ja ruiskutussuuttimeen. Usein tämän kategorian moottoreissa on yksi polttoainepumppu kaikille sylintereille.

Moottorin nopeutta rajoitetaan mekaanisella säätäjällä. Säätäjä säätää ruiskutettavan polttoaineen määrän kontrolloimalla ruiskutuspumpusta syötettävän polttoaineen määrää. Säätäjän avulla on mahdollista pitää moottorin kierrosluku tavoitellussa. Näin saadaan pidettyä sähköntuotannossa taajuus ja jännite tasaisena.

Moottorin voitelu tapahtuu kampiakselikäyttöisellä rataspumpulla, joka sijaitsee kampikammiossa/öljysumpussa. Pumpua suojelevan imusihdin läpi voiteluöljy siirtyy putkien ja porausten kautta useisiin eri moottorin komponentteihin, jotka tarvitsevat voitelua ja jäähdytystä. Voiteluöljysuodatin varmistaa, että voiteluöljy pysyy puhtaana ja sen joukossa ei ole vieraita partikkeleita. Öljyjäähdytin pitää voiteluöljyn lämpötilan normaalissa käyttölämpötilassaan. Vesijäähdytteisissä moottoreissa voiteluöljy jäähdytetään vesikierron avulla. Termostaattiventtiilit päästävät läpi tarvittavan määrän jäähdytysvettä öljyjäähdytimeen, jotta voiteluöljyn lämpö pysyy tasaisena. Suurin osa näistä moottoreista jäähdytetään suljetulla vesikierrolla, avoimella vesikierrolla, polttoaineella tai ilmalla. Yhä useammin nämä moottorit varustetaan turboahtimella ja välijäähdyttimellä ahtoilman jäähdyttämiseksi.

Sylinterien määrä vaihtelee yhdestä kuuteen rivimoottoreissa ja neljästä kahdeksaan V-moottoreissa. Sylinterien poraukset vaihtelevat  $\pm 50-150\text{mm}$  välillä.

Moottorit käynnistetään useimmiten manuaalisesti tai sähköisesti. Moottorivalmistajia ja moottorityyppejä on useita.



Kuva 1. Kategorian I moottori hätägeneraattorina.

#### 4.2 Kategoria II

Kategorian II teolliset dieselmoottorit: teholtaan 100-10 000 kW, polttoaineena MDO, nelitahti, nopeakäyntinen.

Nämä hieman suuremmat teolliset dieselmoottorit vaihtelevat tehoiltaan 100-10 000 kW välillä. Myös tämän kategorian moottoreita käytetään useisiin eri tarkoituksiin.

Jo 2000 kW moottori on usein tarpeeksi suuri sisävesialuksille sekä rannikonavigointiin, ja sillä on tarpeeksi tehokapasiteettia generaattorin käyttöön. Tämän kategorian moottorit ovat käytössä useilla laivoilla sähköntuotantoon, lisäksi näitä käytetään moottoreina pumpuille ja kompressoreille.

Tusinat moottorinvalmistajat ovat aktiivisia tässä ”voimaluokassa” ja monet niistä toimivat globaaleilla markkinoilla.

Nämäkin moottorit käyttävät marine dieselöljyä polttoaineenaan, HFO ei sovellu näille nopeakäyntisille yli 960 rpm moottoreille. Sylinterin määrä V-moottorissa voi yltää 16, 18 tai jopa 20 sylinteriin asti. Sylinterin halkaisijat vaihtelevat +-80-200mm välillä.

Lohko tai runko on valmistettu yhdestä kappaleesta ja on usein valurautaa. Yleensä sylinteriputket ovat erillisiä ja vaihdettavissa ja niitä jäähdytetään joka sivulta jäähdytysvedellä. Moottoreissa, jotka tuottavat suuren tehon, on jokaisella sylinterillä oma polttoainepumppu. Myös yhteinen pumppu useammalle tai kaikille sylintereille on yleinen.

Yhä useammin nämä moottorit ovat common rail -moottoreita, jotka parantavat moottorin potentiaalia suuremmalla käyttäjän hallinnalla, pienentyvällä polttoaineen kulutuksella ja päästöillä.

Yleensä nämä moottorit jäähdytetään suljetulla jäähdytysvesijärjestelmällä. Tämän kategorian moottoreiden voitelu on tärkeää, tämä toki pätee kaikkiin muihinkin dieselmoottoreihin. Kova terminen ja mekaaninen kuormitus vaativat huolellisen voitelun ja öljyjäähdytyksen muun muassa männille, männänrenkaille, sylinteriputkille ja pakoventtiileille.

Lähes poikkeuksetta tämän kategorian moottoreiden polttoaineena toimii MDO, koska HFO ei ehdi palamaan puhtaasti prosessin nopeuden takia. Markkinoilla on HFO moottoreita, kierrosluvuiltaan 1000-1200 rpm, mutta nämä ovat poikkeuksia. Tässä kategoriassa kierrosluvut ovat usein 1500, 1800 tai 2100 rpm.



Kuva 2. Kategorian II Wärtsilä 20 -moottori.

### 4.3 Katgoria III

Kategorian III teolliset dieselmoottorit: teho 500-30 000kW, polttoaine HFO, nelitahti, keskinopea.

Tämä on melko laaja ryhmä, johon luokitellut dieselmoottorit lähes poikkeuksetta käyttävät polttoaineena raskasta polttoöljyä eli HFO:a. HFO-dieselmoottori määritellään niin, että se on moottori, joka voi käynnistyä, kulkea ja pysähtyä HFO käytöllä kaikilla kuormilla. Koska polttoaineena on raskas polttoöljy tarkoittaa se sitä, että kierrosluvut moottoreilla ovat maksimissaan 1000-1200 rpm. Luokittelun mukaan nämä korkeampi kierroslukuiset (1000-1200 rpm) moottorit ovat itseasiassa nopeakäyntisiä, mutta jotkut valmistajat kutsuvat näitä nimellä ”high medium-speed four stroke diesel engines”. Sylinterin poraus vaihtelee 160-580mm välillä. Valmistajia on reilusti, noin tusina.

Kaikki lohkot ovat valmistettu yhdestä metallikappaleesta. Valu on yleensä tehty harmaasta valuraudasta tai seostetusta valuraudasta. Lohkoon kohdistuvat termiset ja mekaaniset kuormat ovat huomattavia.

Siltä osin kuin mahdollista voiteluöljy, jäähdytysvesi ja ilmalinjat ovat kanavoitu lohkoon. Tällä tavoin saadaan mahdollisimman vähän erillisiä putkilinjoja ja liitoksia, jotka ovat potentiaalisia vikaantuvia kohtia. Yhdestä kappaleesta valmistettu kampiakseli sijaitsee rungon pohjassa ja laakereineen se on kiinnitetty ja tuettu runkoon, näin ollen se voidaan luokitella kuulumaan enemmän tai vähemmän rungon osaksi.

Sylinteriputket asennetaan yleisesti lohkon tasolle, mutta suuremmissa moottoreissa osa sylinteriputkista jää näkyviin rungon ulkopuolelle.

Mäntä koostuu kahdesta osasta, männän kruunusta, joka pystyy käsittelemään suuria termisiä ja mekaanisia kuormia, sekä helmasta ja männänrenkaista. Kiihdytysvoimien vuoksi mäntä pyritään pitämään niin kevyenä kuin mahdollista. Männäntapin tulee olla halkaisijaltaan riittävä, jotta se olisi jäykkä ja mahdollisimman joustamaton. Männänrenkaat halkaisijoiltaan suurissa sylintereissä voidellaan kovalla paineella ja männän kruunun jäähdytykseen on kiinnitetty erityistä huomiota. Kiertoakseli siirtää erittäin suuria männän tuottamia voimia kampiakselille.

Sylinteriputken yläosassa on niin kutsuttu anti-polishing ring, jonka tehtävänä on saada paine kasvamaan äkillisesti männän tullessa yläkuolokohtaansa. Tämän lisäksi se vähentää männän, männänrenkaiden ja sylinteriputken kulumista ja kaappii karstaa männän kruunusta.

Sylinterikannet on valmistettu valuraudasta, niihin lisätään seosmetallia kansien termisten ja mekaanisten ominaisuuksien parantamiseksi.

Kaasunvaihto tapahtuu kahden imu- ja pakoventtiilin välityksellä. Venttiilit sulkeutuvat venttiilin seetejä vasten, jotka ovat vaihdettavissa. Pakoventtiilit ja seetit ovat valmistettu erikoisteräksestä, jotta kuluminen ja korroosio saataisiin niin pieneksi kuin mahdollista.

Pienemmissä moottoreissa sylinterikanteen sijoitetun ruiskutus-suuttimen polttoaine kuljetetaan polttoaineputkiston välityksellä suoraan suuttimeen. Polttoainelinjat ovat

kaksoisseinämäputkia polttoainevuotojen ehkäisemiseksi. Suuremmissa moottoreissa polttoaineen syöttö tapahtuu sylinterikannen porausten läpi.

Poikkeuksetta kaikki moottorit ovat varustettu turboahtimella ja ahtoilmajäähdyttimellä, jonka avulla puristettu ilma saadaan viilennettyä.

Moottorin voitelu tapahtuu konevetoisella voiteluöljypumpulla. Kun moottori ei pyöri, sitä esivoidellaan erillisellä sähkökäyttöisellä esivoitelupumpulla. Joissain erityistapauksissa on myös mahdollista, että voitelu tapahtuu kokonaisuudessaan sähköpumpulla. Tämän kategorian moottoreissa voiteluöljyn puhdistamiseksi ei riitä pelkkä tavallinen öljysuodatin syöttöpuolella. Öljyn puhdistaminen toteutetaan separaattoreilla ja keskipakoissuodattimilla. Separaattorit puhdistavat moottorin koko öljymäärää ja poistavat siitä vettä sekä ulkoisia likapartikkeleita, kuten metallinpaloja ja pakokaasujäämiä eli karstaa.

Jäähdytys tapahtuu konevetoisilla vesipumpuilla suljetuissa vesikiertoissa. Jäähdytysvesien paineita pidetään yllä kierroissa olevien paisuntatankkien avulla. HT-veden (high temperature) lämpötila on 80-90 celsiusastetta ja LT-veden (low temperature) +/- 35 celsiusastetta.

Tämän kategorian moottoreita käytetään usein eri tyyppisissä aluksissa propulsiovoiman tuottamiseksi.





Kuva 3. Kaksi kategorian III Wärtsilä 46 -moottoria aluksen propulsiovoiman tuottamiseksi.

#### 4.4 Kategoria IV

Kategorian IV teolliset dieselmoottorit: teho 1500-150 000 kW, polttoaine HFO, kaksitahti ristipää, hidaskäyntinen.

Lähes kaikki suuremman kokoluokan tankkerit, bulkkerit ja konttialukset käyttävät suuria kaksitahtisia hidaskäyntisiä ristipäämoottoreita aluksen propulsiovoiman tuottamiseksi.

Tämän kategorian moottorit ovat valtavan suuria ja voivat painaa jopa 3300 tonnia. Ne ovat myös todella korkeita ristipäärakenteensa vuoksi, korkeimmat käytössä olevat moottorit ovat jopa 14 metrisiä.



Nämä valtavat, hidaskäyntiset moottorit ovat kierrosluvuiltaan 60-250 rpm välissä ja sylinterien halkaisijat vaihtelevat 260mm aina 980mm asti.

Tämän kategorian moottorit käyttävät potkuria tai generaattoria poikkeuksetta suoraan potkuriakselin välityksellä, näissä moottoreissa ei siis käytetä alennusvaihteita. Tämä tarkoittaa, että potkuriakselin tai generaattorin kierrosluku on vastaava kuin moottorin kierrosluku. Tämä tekee asennuksesta huomattavasti yksinkertaisempaa.

Kaikki tämän kategorian moottorit käyttävät polttoaineenaan raskasta polttoöljyä. Ne ovat suurimmaksi osaksi lisenssillä valmistettuja Etelä-Koreassa, Japanissa tai Kiinassa koska laivanrakennus, jossa tämän kategorian moottoreita asennetaan, keskittyy juuri näille alueille. Kuivapaino näillä moottoreilla vaihtelee 100-3300 tonnin välillä. Valmistajia on vain kolme, MAN Diesel, Wärtsilä Sulzer ja Mitsubishi.

Kaksitahtiset moottorit ovat osarakenteisia. Eri osat, kuten moottorin pohjalaatta ja A-pukit, joissa ovat moottorin valuosat kuten sylinteriputket, ovat valmistettu hitsaamalla. Sylinterikansi kuten kampiakselikin on valmistettu taotusta teräksestä. Moottoria kasatessa laivaan sen pohjalaatta säädetään ja linjataan ja se kiinnitetään aluksen runkoon useilla petipulteilla. Kampiakseli, joka voi olla jopa 25 metriä pitkä ja painaa 150 tonnia, sijoitetaan paikoilleen tämän jälkeen. Kampiakselin kiinnityksen jälkeen hitsatut teräksiset A-pukit asennetaan pohjalaatan päälle ja ne kiinnitetään toisiinsa pulteilla. Yhdessä A-pukissa voi olla yhdestä neljään sylinteriä. Valurautaiset sylinterilohkot sijoitetaan A-pukkeihin. Sylinterilohkot, A-pukit ja pohjalaatta kiinnitetään toisiinsa pitkillä ankkuriruuveilla, jotka liittävät kaikki kolme osiota toisiinsa.

Sylinterikansissa on hydraulisesti ohjatut keskitetyt pakoventtiilit, kaksi tai kolme polttoaineventtiiliä, varoventtiili, indikointihana ja startti-ilmaventtiili. Moottorin käyttökomponentit koostuvat männästä, johon on kiinnitetty männän varsi, ja ristikappaleesta liukukengillä siirtämään voimia kiertokankimekanismilta liukukiskoihin.

Useimmilla käytössä olevilla tämän kategorian moottoreilla polttoainepumppua käytetään nokka-akselilla. Moottoreissa on erillinen hydraulipumppu pakoventtiilejä varten. Pumppu on kampiakselikäyttöinen ja toimii joko hammasrattailta tai ketjulla.

Uusimmissa moottorityypeissä on käytössä kehittyneempiä polttoainejärjestelmiä kuten common rail -tekniikka. Näissä tapauksissa moottoreissa ei ole enää nokka-akselia. Voitelua varten moottoreissa on kaksi erillistä järjestelmää: sylinterivoitelujärjestelmä ja kampikammion voitelujärjestelmä.

- Sylinterivoitelujärjestelmä: Tätä varten moottorissa voi olla joko useita pieniä konevetoisia itsenäisiä mäntäpumppuja tai vaihtoehtoisesti voidaan käyttää sähkömoottorikäyttöisiä pumppuja taajuusmuuntajilla varustettuina. Näillä pakotetaan erikoisvoiteluaine erinäisten porausten läpi sylinteriputkeen, josta se leviää ympäri sylinterin sylinteriputkessa olevien koneistettujen urien avulla. Voiteluaine tuodaan sylinteriputkeen juuri oikeaan aikaan männän ollessa optimikorkeudessaan. Sylinterivoitelujärjestelmä voitelee männän, männänrenkaat ja sylinteriputken. Tietty prosentti voiteluaineesta kuuluu palaa pois. Jäljelle jäävä määrä valuu sylinteriputkea pitkin tippuen huuhteluilmatilan pohjalle, josta se valuu pois.
- Kampikammion voitelujärjestelmä: Kampikammion voitelujärjestelmä toimii sähkömoottorikäyttöisillä siirtopumpuilla. Voiteluöljy pumpataan laakereiden kautta ristipäälle sekä nokka-akselille. Näiden voideltavien kohteiden lisäksi myös mäntä on usein sisäisesti jäähdytetty tämän kierron avulla.

Myös suuret kaksitahtimoottorit jäähdytetään kahta eri jäähdytysvesijärjestelmää hyödyntäen: HT eli high temperature ja LT eli low temperature. HT-järjestelmää käytetään sylinteriputken, sylinterikannen ja pakoventtiilien jäähdyttämiseen. Joissain tapauksissa myös mäntä jäähdytetään HT-vedellä. LT-järjestelmällä jäähdytetään puolestaan huuhteluilma ja voiteluöljy.

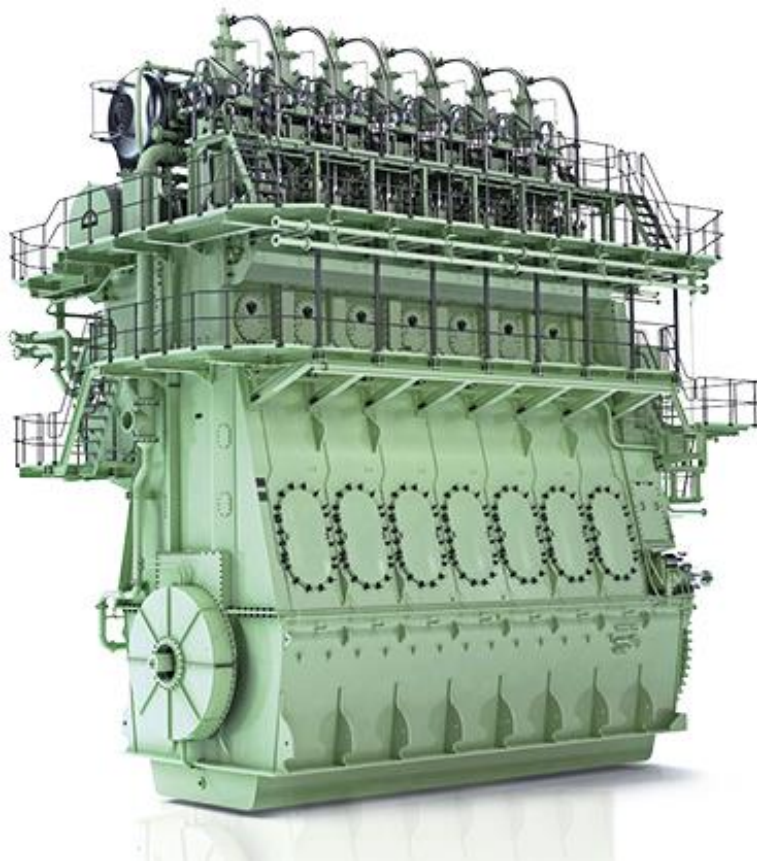
Yleensä ilmansyöttö moottoriin tapahtuu useilla turboahdinryhmillä, jotka puristavat ilman. Ilma jäähdytetään ja johdetaan huuhteluilmaputkeen, joka kulkee koko moottorin pituudella. Ilma virtaa sylinteriin huuhteluilmatilasta ja se täyttää sylinteriputken, kun mäntä on alakuolokohdassaan ja imuportit ovat auki.

Perinteisillä polttoainepumpuilla polttoaineensyöttö tapahtuu nokka-akselikäyttöisellä mäntäpumpulla.

Yhdessä sylinterissä on kaksi tai kolme ruiskutusputta, jotka ympäröivät sylinterin keskelle sijoitetun pakiventtiilin ja ruiskuttavat polttoaineen sylinteriin. Sekä mäntäpumppuja, että venttiiliohjattuja polttoainepumppuja käytetään. Näiden lisäksi markkinoille vuonna 2012 tullut elektronisesti ohjattu common rail -järjestelmä on käytössä uudemmissa asennuksissa. Common rail -järjestelmä tuo mukanaan monia etuja ja niiden suosio kasvaa jatkuvasti.

Kaksitahtimoottorit 600mm sylinterin halkaisijaan asti toimivat usein yhdessä säätölapapotkurin kanssa. Säätölapapotkuri mahdollistaa koneiden operoinnin aina samalla pyörimissuunnalla. Suuremmissa moottoreissa ja näin ollen myös suuremmilla potkureilla, joudutaan käyttämään kiinteälapaista potkuria. Kiinteälapaista potkuria käytettäessä moottorin pyörimissuunta tulee olla käännettävissä. Tämä saadaan toteutettua liikuttamalla tai kääntämällä nokka-akselia voiteluöljyn paineen avulla. Nokka-akselin siirtyminen pakottaa käynnistysilmaventtiilien ja polttoaineen ruiskutuksen noudattamaan erilaista operointijärjestystä.

Sylinterimäärä vaihtelee neljän ja 14 sylinterin välillä. Moottorin tuottamat tehot ovat noin 1500 kW aina 150 000 kW asti. Suuret kaksitahtiset ristipäämoottorit ovat aina rivimoottoreita.



Kuva 4. Kategorian IV MAN B&W 7S80 -moottori.

#### 4.5 Ajolaitteisto

Moottoreiden osiin kohdistuu valtavia voimia. Palotilassa syntyneet voimat siirretään männällä männäntappiin, kiertokankeen ja kampiakseliin. Tämän päivän raskaasti ahdetuissa dieselmoottoreissa mäntään kohdistuva paine vaihtelee 500 kilosta kategorian I moottoreissa aina 1100 tonniin kategorian IV moottoreissa. Valtavien huippuvoimien lisäksi mäntää kuormittaa voiman jatkuva ja nopea vaihtelu. Hallitakseen näitä massiivisia voimia moottorivalmistajien on kiinnittävä erityistä huomiota moottorin komponentteihin, niiden materiaalivalintoihin ja laatuun.

##### 4.5.1 Ajolaitteisto nelitahtimoottoreissa

Moottorin ajolaitteisto koostuu seuraavista:

- Mäntä, mukaan lukien männänrenkaat
- Männäntappi

- Kiertokanki ja laakerit
- Kampiakseli ja laakerit
- Nokka-akseli ja pumput

Mäntä:

Männät nelitahtimoottoreissa eivät ainoastaan siirrä palavan polttoaineen tuottamaa voimaa kampiakselille kiertokangen välityksellä, vaan ne myös tasaavat ne poikittaisvoimat, jotka aiheutuvat kiertokanki/kampiakseli -mekanismista.

Männän rakenne on erilainen jokaisella edellä mainitulla moottorikategoriolla. Kun moottoreiden kierrosluvut pienenevät ja sylinterien poraukset kasvavat, männät valmistetaan usein kahdesta osasta. Kaksiosainen mäntä koostuu kruunusta, joka on teräsvalmisteinen ja usein valuraudasta valmistetusta männän helmasta. Kruunu pystyy käsittelemään niitä valtavia voimia, jotka siihen kohdistuvat 300-400 asteen lämpötilassa. Teräksisessä kruunussa on männänrenkaat. Männänhelma on se, joka neutraloi syntyvät poikittaisvoimat. Valurautaisissa helmoissa on erikoispinnoite, joka parantaa männän käyttöominaisuuksia. Pienissä moottoreissa männät ovat usein valmistettu yhdestä kappaleesta, joissa materiaalina käytetään korkealaatuista kevytmetalliseosta. Kiihdytys- ja hidastusvoimien vastustamiseksi männät pidetään aina niin keveinä kuin mahdollista.

Männänrenkaat tiivistävät palotilan ja ohjaavat mäntää sylinteriputkessa. Männänrenkaiden lukumäärä vaihtelee kahdesta viiteen riippuen sylinterin halkaisijasta, moottorin kierrosluvusta ja männän kruunuun kohdistuvista voimista.



Kuva 5. Wärtsilä common rail 46 -moottorin mäntä.

#### Männäntappi:

Kiertokanki ”pyörii” männäntapin ympärillä ja männäntapin välityksellä siirretään männän tuottama voima kiertokankeen. Kiertokangen molempien päiden laakerointien täytyy olla tarpeeksi suuria, jotta pintoihin kohdistuva paine ei olisi liian suuri. Männäntapin halkaisijaa joudutaan kasvattamaan, kun mäntään kohdistuvien voimien määrä kasvaa. Männäntapin tulee olla erityisen jäykkä.

Voidellakseen riittävästi kiertokangen laakeria, voiteluöljyä toimitetaan paineen alaisena rei’ityksen läpi kiertokankeen. Männäntapit ovat valmistettu seosteräksestä ja niissä saattaa olla myös ohut kromipinnoite.



Kuva 6. Wärtsilä common rail 46 -moottorin männäntappi asennustyökaluineen.  
Taustalla männän kruunu.

Kiertokanget:

Kiertokanget valmistetaan usein taotusta teräksestä. Pienimmissä kategorian I moottoreissa kiertokanget valmistetaan erikoisvaluraudasta.





Kuva 7. Wärtsilä common rail 46 -moottorin kiertokanki.

#### Kampiakseli:

Kampiakseli muuntaa männän ylösalaisen liikkeen pyöriväksi liikkeeksi. Kaikki suurimmat kampiakselit valmistetaan yhdestä takorautakappaleesta ja ovat pinnoitettu kromilla ja nikkelillä. Nopeakäyntisissä moottoreissa kampiakselit ovat yleensä pintakarkaistuja kovempien laakerikuormien vuoksi. Kampiakselit taotaan kampiakselimuoteissa, joihin kuuma teräs on puristettu. Tätä seuraa koneistusprosessi ja vastapainojen asentaminen.





Kuva 8. Wärtsilä common rail 46 -moottorin kampiakselin osa vastapainoineen. Kuvassa näkyy kiertokanki laakeroituna kampiakseliin.

#### Nokka-akseli:

Nokka-akselissa olevat nokat ajavat polttoainepumppuja sekä imu- ja pakoventtiilejä. Suuremmissa moottoreissa nokka-akselit ovat valmistettu useista eri kappaleista sylinterikohtaisilla paloilla. Nämä kappaleet ovat kiinnitetty toisiinsa pulteilla. Tämä helpottaa vikatilanteessa vahingoittuneen osion vaihtoa.



Kuva 9. Nokka-akselin yksittäinen pala

Imu- ja pakoventtiilien käyttö:

Useimmiten imu- ja pakoventtiileitä ajetaan nokka-akselin nokkien välityksellä, jotka pakottavat venttiilejä ajavan pyörän eli rollerin nousemaan ylöspäin. Roller liikuttaa venttiiliä ohjurin ja työntötangon välityksellä. Useimpien moottoreiden ollessa varustettuja kahdella imu- ja pakoventtiilillä, näiden venttiilien mekanismit sylinterinkannessa saattavat olla melko monimutkaisiakin. Venttiilinjouset takaavat, että venttiilit sulkeutuvat heti kun nokka-akselin asento sallii tämän.

#### 4.5.2 Ajolaitteisto kaksitahtisissa ristipäämoottoreissa

Näissä moottoreissa ajolaitteisto koostuu seuraavista osista:

- mäntä ja männänrenkaat
- männän varsi
- ristikappale
- liukujohteet ja liukukengät
- kiertokanki ristipäälaakereilla
- kampiakseli laakereineen

Männät

Männät kaksitahtisissa ristipäämoottoreissa siirtävät voiman männän varrelle, ristipäälle ja kiertokangen välityksellä kampiakselille. Kampiakseli/kiertokanki -mekanismilta voimat siirtyvät kokonaisuudessaan ristipäälle ja liukujohteiden välityksellä kuljetetaan liukukenkiin, jotka ovat kiinni A-pukeissa. Tämän lisäksi mäntä sekä männänrenkaat toimivat sylinterissä olevien kaasujen tiivistämiseksi. Kun mäntä on lyhyt, sylinterin halkaisija on usein suurempi kuin männän korkeus. Nykyaikana kaikki männät jäähdytetään voiteluöljyllä erillisen jäähdytysjärjestelmän kautta. Korkeiden kuormitusten vuoksi männät valmistetaan taotusta teräksestä ja se myös mahdollistaa mäntien korjaamisen hitsaamalla.

Männän varsi:

Männän varsi on pultattu sekä mäntään, että ristipääkappaleeseen raskarakenteisilla laipoilla. Varsi on valmistettu taotusta teräksestä ja sen viimeistely on hyvin sileä. Sylinteriholkki muodostaa tiivisteiden huuhteluilmatilaa ja kampikammion välille.

Sylinteriholkki:

Sylinteriholkki erottaa toisistaan huuhteluilmatilaa sekä kampikammion. Huuhteluilmatilassa on aina läsnä likaa jossain muodossa sillä jäännöstuotteet palamisreaktiosta männän yläpuolella pääsevät tilaan aina pienissä määrin. Tämä tapahtuu männänrenkaiden välityksellä, koska renkaat ovat alttiita kulumiselle. Tämä, sekä sylinterin voiteluöljyn sisältämät epäpuhtaudet ja imuilman kosteus voivat muodostaa likakerroksen huuhteluilmatilaa pohjalle. Sylinteriholkin yläosassa oleva niin kutsuttu ”scraperring” kaappii likaa männän varresta ja siirtää sen pois moottorista. Sylinteriholkin alapuolella oleva kampikammio on melko puhdas tila. Kampikammiossa sijaitsevat moottorinosat ovat jatkuvasti voideltuja päävoiteluöljyjärjestelmän voiteluöljyllä, joka kierrättää voiteluöljyä moottorissa. Myös männät ovat jäähdytettyjä tällä puhtaalla voiteluöljyjärjestelmällä. Sylinteriholkin alaosa kaappii suhteellisen puhdasta voiteluöljyä männän varresta ja valuttaa sen kampikammioon.

Ristikappale:

Ristikappale, tai ristipää, yhdistää männän varren ja kiertokangen. Kiertokanki on kiinnitetty männän varreen ja kiertokanki pyörii ristipään ympärillä.

Poikittaisvoimat, jotka vaikuttavat kiertokankimekanismiin, siirretään liukukenkiin. Liukukengät ovat kiinnitettyinä runkoon liukujohteilla. Tänä päivänä laakeripesät ovat valmistettu kovasta tri-metallista. Niillä on parempi resistanssi pintoihin kohdistuvalle paineelle, kuin ennen vanhaan käytetyillä valkometallilla pinnoitetuilla laakeripesillä.

Kiertokanki:

Kiertokanki on pultattu ristipään yläosaan ja kiertokangen alaosa kampiakseliin. Kiertokanget ovat valmistettu pääasiassa taotusta teräksestä, joissain tapauksissa myös sekoitemetalleista. Voimat kategorian IV moottoreista voivat olla useita tonneja aina 1100 tonniin asti. Tästä syystä kaikki ajolaitteiston komponentit, laakerit mukaan lukien, on viimeistely tarkasti. Näiden massiivisten voimien vuoksi käytetään tri-metallista valmistettuja laakereita pehmeämpien valkometallilaakereiden sijaan, niillä ollessa parempi resistanssi korkeisiin moottorin kuormiin.

Kampiakseli:

Lyhyemmät kampiakselit kaksitahtimoottoreissa ovat valmistettu yhdestä kappaleesta, pidemmät kahdesta metallikappaleesta toisiinsa suurilla laipoilla liitettynä. Moottoreiden kasvaneet voimat ovat johtaneet kampiakselien halkaisijoiden kasvuun. Suurten moottoreiden kampiakselit ovat ”pehmeitä”, niillä ei ole karkaisuvii-meistelyä. Raamilaakerit ovat niin ikään valmistettu tri-metallista.

Nokka-akselin käyttö:

On olemassa seuraavat kaksi perinteistä tapaa ajaa nokka-akselia kampiakselilla.

Tapa 1: Hammasrattaat

Wärtsilä Sulzer ja Mitsubishi käyttävät edelleen tätä tapaa osassa mallistoaan. Modernit Wärtsilä Sulzerin ja MAN:in valmistamat moottorit common-rail -tekniikalla eivät ole enää varustettu nokka-akselilla. Hammasrataskäytön edut ja haitat:

+Hienosäädetty käyttö, jossa hampaiden pieni kuluma ei vaikuta nokka-akselin ajoitukseen

-Kallis

-Raskas

-Vaatii huolellisen hammasrattaiden kohdistamisen

Tapa 2: Ketjut

MAN käyttää tätä tapaa MC sarjassaan. Ketjukäytön edut ja haitat:

+Melko edullinen

+Kevyt painoiltaan

-Vaatii ajoittaista kiristystä ketjun lenkkien kulumisen ja venymisen vuoksi, muuten nokka-akselin ajoitus menee pieleen

Polttoainepumpun käytöt:

Perinteisesti kaksitahtisten ristipäämoottoreiden polttoainepumput ovat nokka-akseli käyttöisiä. Korkeapainepumppu on sijoitettu suoraan nokka-akselin nokan yläpuolelle. Kiertämällä nokkaa tai liikuttamalla koko nokka-akselia, polttoaineen ruiskutus saadaan säädettyä moottorin vastakkaiselle käyntisuunnalle.

Pakoventtiilien käytöt:

Valmistajat ovat vaihtaneet jokunen vuosikymmen sitten perinteisistä mekaanisista pakoventtiileistä hydraulisesti käytettäviin pakoventtiileihin kaksitahtisissa ristipäämoottoreissa. Mekaanisesti käytetyt pakoventtiilit, joita käytettiin nokka-akselilla, katosivat eikä niitä ole sen jälkeen nähty uusissa moottoreissa. Nyt pakoventtiilit näissä moottoreissa ovat hydraulisesti käytettyjä. Aiemmin käytetty pakoventtiilin sulkeva raskas jousi on myös poistunut käytöstä, sen on korvannut ilmakäyttöinen mäntä, joka sulkee pakoventtiilin nopeasti.

Seuraavat kaksi tapaa ovat käytössä:

Tapa 1:

Hydraulinen pumppu, joka on asennettu nokka-akselille. Se avaa pakoventtiilin käyttämällä voiteluöljynpainetta moottorin voiteluöljyjärjestelmästä. Näissä moottoreissa on yhteiset korkeapaineiset polttoainepumput, jotka ovat nokka-akseli käyttöisiä.

Tapa 2:

Common-rail -moottoreissa ei ole nokka-akselia, vaan polttoaine/voiteluöljy-yksikkö on sijoitettu kampiakselin yhteyteen, jolla yksikköä ajetaan. Voiteluöljyn sisältävä

osa pakottaa voiteluöljyn pakoventtiileille todella korkean paineen alaisena. Pakoventtiilejä pystytään avaamaan ja sulkemaan erittäin tarkasti ja venttiiliajoitusta pystytään helposti muuttamaan. Tällä tavoin venttiilin liike voidaan optimoida vaihtelevan kuormituksen, kierrosluvun ja polttoainetyypin mukaan.

**Painelaakerit:**

Laivojen propulsiossa, potkurin pyörivä liike luo työntövoimaa laivan takana olevaan veteen. Tämä voima siirretään moottoreista potkuriakselille, joka on laivan perustassa painelaakerin kanssa. Suurissa kaksitahtisissa ristipäämoottoreissa potkuriakseli on yhdistetty suoraan moottoriin. Painelaakeri sijaitsee moottorin sisällä tai välittömästi sen takana. Painelaakeri varmistaa, että kiertokankeen ei kohdistu aksiaalisia voimia.

## 5 MOOTTORIN TULOILMA JA AHTAMINEN

Dieselmoottorit käyttävät huomattavan määrän ilmaa operoidessaan. Ne tarvitsevat happea polttoaineen palamisprosessiin ja huuhteluilmaksi, ilma myös jäädyttää kuumia moottorin komponentteja, jotka ovat palotilassa tai sen välittömässä läheisyydessä. Tällaisia ovat esimerkiksi männän kruunu, sylinterikannen liekkirengas ja pakoventtiilit.

### 5.1 Ilman määrä

Teoriassa yhden kilon polttoainemäärän polttaminen dieselmoottorissa tarvitsee raskaan polttoöljyn tapauksessa 14 kg ilmaa. Kevyempien polttoaineiden, joissa on enemmän vetyä, polttaminen tarvitsee 14,5 kg ilmaa. Todellisuudessa kuitenkin kaksinkertainen ilmamäärä teoreettiseen tarpeeseen verrattuna syötetään moottoriin, riippuen toki minkälainen dieselmoottori on kyseessä. Tarvittava ilmamäärä voidaan saavuttaa kahdella tavalla.

## Tapa 1: Luonnonkierto

Tätä menetelmää voidaan käyttää vain nelitahtimoottoreissa. Männän liikkeessa alas imutahdin aikana, imuventtiilit aukeavat ja ilma virtaa sylinteriin männän luoman alipaineen eli vakuumin vaikutuksesta. Se kulkee ensin ilmasuodattimen läpi. Nykyään luonnonkierto on käytössä vain verraten pienissä moottoreissa, joissa on pienet tehot. Luonnonkierrossa saatu hyöty suhteessa käytetyn polttoaineen määrään on matala. Moottorin rakenne on yksinkertaisempi koska se ei tarvitse turboahdinta putkistoi-  
neen ja välijäähdyttimiseen.

## Tapa 2: Turbohtaminen

Tässä menetelmässä ilma puristetaan ja se virtaa sylinteriin. Kaksitahtisissa moottoreissa tämä tapahtuu imuporttien välityksellä ja nelitahtisissa taas imuventtiilien läpi. Turbohtaminen tapahtuu yleisesti turboahdimella, jota pyöritetään pakokaasujen ilmavirtauksella. On kuitenkin myös mekaanisia pumppuja, joita ajetaan esimerkiksi moottorin kampiakselilla. Tänä päivänä tätä menetelmää käytetään yleisesti ottaen kaikissa suuremmissa diesel-, dualfuel- ja kaasumoottoreissa. Ilma virtaa sylinteriin ylipaineen vaikutuksen alaisena. Puristetulla ilmalla on suurempi massa, jonka seurauksena voidaan myös käyttää suurempaa määrää polttoainetta. Kapasiteetti on jopa 200% suurempi kuin luonnonkierrossa. Turboahdit voidaan asentaa niin kutsuttujen waste gatiien kanssa, jolloin oikea määrä ilmaa saadaan säädettyä moottorin kuormalle sopivaksi. Turbohtamisen tuomia etuja ovat:

- Moottorin teho/painosuhte paranee merkittävästi
- Vääntö osakuormilla paranee merkittävästi
- Kulutettu polttoaineen määrä osakuormilla pienenee merkittävästi
- Moottorista ulos saatava teho paranee merkittävästi
- Kokonaistehokkuus ja polttoaineen kulutus kaikilla kuormilla paranee
- Turboahdin on hiljaisempi kuin luonnonkierto
- Polttoprosessi turboahdimella varustetussa moottorissa on puhtaampi ja päästötasot matalampia





Kuva 10. Turboahdin keskinopeassa nelitahtisessa rivimoottorissa.

## 5.2 Ilman jäähdytys

Ilmaa puristettaessa, sekä ilman paine että lämpötila nousevat ja ilman massa pienee. Ilmaa jäähdytetään välijäähdyttimessä, jolloin sen massa saadaan taas kasvamaan. Suurempi massa johtaa siihen, että samassa ajassa voidaan toimittaa suurempi määrä ilmaa sylinteriin ja näin ollen myöskin enemmän polttoainetta saadaan syötettyä. Ilman massa ja lämpötila ovatkin merkittävät tekijöitä moottorista saadun hyödyn kannalta. Ahtoilman lämpötila heti turboahtimen jälkeen, moottorityypistä ja kuormasta riippuen, vaihtelee noin 80-200 celsiusasteen välillä. Kuljettuaan välijäähdyttimen läpi, lämpö saadaan laskettua noin 35-85 celsiusasteen välille.





Kuva 11. Ahtoilmajäähdytin nelitahtisessa uppomäntämoottorissa.

### 5.3 Pienet turboahtimet

Kategorian I & II moottoreiden ollessa pieniä, on niissä käytössä verrattain pienet turboahtimet. Roottori koostuu pakokaasuturbiinista ja keskipakoisilmakompressorista. Akseli on lyhyt ja paksu ja se on tuettu kahdella laakerilla, sekä yhdellä laakerilla ilmakompressorin puolelta. Akselissa on tiivisteet pakokaasupuolelle ja puhtaan ilman puolelle. Voitelu tapahtuu moottorin omalla voiteluöljyjärjestelmällä, tämä pätee usein myös suurten turboahdinten tapauksessa. Turboahdin ei ole jäähdytetty, joten se on valmistettu korkealaatuisesta lämpöä kestävästä materiaalista. Ahdinten ulkopuoli on eristetty paloturvallisuuden vuoksi. Pakokaasut johdetaan ahtimeen pakokaasumanifoldin kautta. Sisääntulokanava ahtimessa on huomattavasti pienempi

kuin pakokaasukanava, joka nopeuttaa kuumien kaasujen virtausta. Spiraalimuotonsa vuoksi kuumien kaasujen ympäröidessä turbiinipyörän, pakokaasut leviävät ja osuvat pyörän lapoihin, joka saa sen pyörimään. Turboahtimen koko riippuu moottorin sylinterimäärästä, kierrosluvusta ja tehosta. Pienillä moottoreilla turboahtimen kierrosluku on näin ollen korkea.

Kompressor vetää sisään ilmaa suuren imusuodattimen läpi. Ilmasuodatin on suuri, jotta painehäviöt suodattimessa olisivat mahdollisimman pienet. Tulevan ilman nopeus kiihtyy ahtimessa ja tämä liike-energia muutetaan paineeksi. Saatavan ahtoilman määrä riippuu luonnollisesti turbiiniin syötettävän pakokaasun määrästä. On mahdollista saavuttaa ylipaine aina 5 baariin asti.

#### 5.4 Suuret turboahtimet

Suurten kategorian III & IV moottoreiden turbojen toimintaperiaate on sama. Merkittävä eroavaisuus on pakokaasuturbiinissa, joka koostuu pyörästä, jossa on erilliset siivet kaikilla puolilla. Myös suuremmissa turboahtimissa moottorin omaa voiteluöljyä käytetään voiteluun. Öljy voitelee ja jäähdyttää turbiiniakselin ja laakerit. Akseli-tiivisteet ovat labyrinthitiivisteitä. Joissain tapauksissa turbiiniakselin kotelointi voi olla myös vesijäähdytteinen.

#### 5.5 Waste-gate

Turbon yhteydessä mahdollisesti oleva niin kutsuttu waste gate kontrolloi turboahtimeen virtaavan pakokaasun määrää. Venttiili avautuu, kun tietty ahtoilman paine ylitetään, näin se kontrolloi ilman määrää ja painetta ja siten myös tehoa.

## 5.6 By-pass venttiili

Ilman by-pass venttiili sijaitsee turbon ilmapuolella ja se yhdistää kompressorin puristus- ja imupuolen. Tämä venttiili, muiden tekijöiden ohella, varmistaa kompressorin pysyvän stabiilina matalilla kuormilla. Kun by-pass on auki, ilmavirtauksen määrä kompressorissa on suurempi kuin koneen tarvitsema ilmavirta.

## 6 POLTTOAINE, POLTTOAINEJÄRJESTELMÄT JA POLTTOAINEEN PUHDISTUS

Eri polttoaineiden hinnoissa on suuria eroja ja laivaan valitun polttoaineen käyttö liittyy usein juuri polttoaineen hintaan. Meriteollisuudessa polttoaineiden hinta ilmoitetaan useimmiten Yhdysvaltain dollareina per tonni (USD/metric ton), Hinnat elävät päivittäin ja aika ajoin polttoaineet ovat edullisempia tai kalliimpia. Laivan propulsiokoneistoissa poltto- ja voiteluöljykustannukset ovat usein yli puolet käyttökustannuksista ja juuri siksi ne yritetään pitää niin alhaisina kuin mahdollista. Dieselmoottori, jolla on matala voiteluöljyn kulutus sekä hyvä polttoainetehokkuus, on paras mahdollinen laivan käytön kannalta. Dieselmoottoreilla, jotka voivat käyttää polttoaineenaan öljyjalostamoiden jäännöstuotteena syntyvää HFO:a eli raskasta polttoöljyä, on alhaisemmat polttoainekulut kuin dieselmoottoreilla, jotka käyttävät polttoaineinaan vain tislattuja polttoaineita. Esimerkiksi MDO eli marine diesel oil on noin kaksi kertaa kalliimpaa kuin HFO.

Laivan suunnitteluvaiheessa on päätös moottoreiden MDO/HFO -käytöstä riippuvainen monesta muustakin tekijästä. HFO vaatii kalliin puhdistus- ja käsittelylaitteiston, jonka täytyy maksaa itsensä takaisin järkevässä aikajaksossa. Lisäksi HFO:n käyttöä on rajoitettu tietyillä alueilla, joka tietää myös lisävaatimuksia pakokaasujen puhdistukseen. Tulevaisuudessa päästöihin liittyvien näkökulmien huomioiminen on entistä tärkeämpää. Yleistäen voidaan sanoa, että kaikki suuret kaksi- ja nelitahtimoottorit voivat käyttää polttoaineenaan raskasta polttoöljyä. Päätös HFO ja MDO välillä riippuu pitkälti myös tarvitusta moottoritehosta, moottoreiden vuosittaisista käyttötunneista, liikennöntialueen paikallisista päästömääräyksistä aivan kuten useista muista-

kin tekijöistä. Dieselvoimalaitokset, jotka yleensä käyttävät keskinopeita nelitahtimoottoreita, käyttävät myös varsin usein HFO:a polttoaineenaan. Tätä päätöstä tukee voimalaitosmoottoreiden korkeat käyntitunnit vuositasolla. HFO:a käytetään harvoin nopeakäyntisissä dieselmooottoreissa, koska syttymisaika on liian lyhyt polttoaineen täydelliseen palamiseen.

Aina siitä asti, kun polttomoottori kehitettiin, on moottoreissa käytetty kaasumaisia ja nestemäisiä hiilivetyjä polttoaineina. Kaasumaisia hiilivetyjä, joita käytettiin Otto periaatteen moottoreissa, saatiin kaivoskaasujen, prosessikaasujen ja maantäyttökaasujen sekoituksista. Paljon myöhemmin, kun kaasua ja öljylähteitä löydettiin syvästä maankuoresta, käytettiin pääasiassa maakaasua ja öljyä. Tänä päivänä maakaasurussien tutkiminen jatkuu yhä ja uusia kaasukenttiä löydetään ja hyödynnetään jatkuvasti. Ottomoottoreita, joita käytetään yleisesti esimerkiksi autoissa, käytetään nestemäisillä polttoaineilla kuten bensiinillä, joka on erittäin kevyt hiilivety-yhdiste. Kaasumaisia hiilivetyjä käytetään yleensä kiinteisiin, paikallaan pysyviin kaasumoottoreihin. Sellaiset kaasut kuin biokaasu ja muut jätekaasut ovat tulossa yhä tärkeämmiksi energiasäästön ja ympäristöhuolien vuoksi.

Verrattain kevyt nestemäinen hiilivety-yhdiste, dieselöljy, on ollut yleisimmin käytetty polttoaine dieselmoottorin keksimisestä asti. Kuitenkin polttoaineiden hinnan kohoamisen myötä HFO (heavy fuel oil) eli raskas polttoöljy yleistyi käytössä. HFO:a on hyvin laajalti käytetty nelitahtimoottoreissa, joiden kierrosluvut ovat 1200 tai sen alle. Kun tämä kierrosluku ylitetään, on syttymisaika liian lyhyt, jotta prosessissa saavutettaisiin täydellinen polttoaineen palaminen.

## 6.1 Nestemäisten polttoaineiden rakenne

Hiilen ja vedyn lisäksi polttoaineissa esiintyy muitakin elementtejä, kuten happea, typpeä, rikkiä ja useita metalleja. Nämä ovat usein kemiallisesti sitoutuneita hiilivety-molekyyleihin.

Raskas polttoöljy eli HFO:

Massa 950-1020 kg/m<sup>3</sup>

Viskositeetti yli 30 cSt @ 50 °C

Marine diesel oil MDO:

Massa 840-920 kg/m<sup>3</sup>

Viskositeetti alle 30 cSt @ 50 °C

## 6.2 Raskaan polttoöljyn määritelmä

Raskasta polttoöljyä käyttävä moottori määritellään niin, että se on moottori, joka voi käynnistyä, pysähtyä ja käydä raskaalla polttoöljyllä kaikilla kuormilla. Raskaat öljyt ovat polttoaineita, joita valmistetaan jäännöstisleestä raakaöljyn jalostusprosessissa. Ne määritellään niiden viskositeetin perusteella. Jäännöspolttoaine on yleinen termi raskaille öljyille, joiden massa ja viskositeetti ovat suuria.

## 6.3 Nestemäisten polttoaineiden standardisointi

Polttoaineet voidaan karkeasti jakaa seuraavasti.

Kaasuöljy:

Tämä tuote koostuu vain tisleistä ja sitä käytetään pienissä, nopeakäyntisissä dieselmoottoreissa, kuten varageneraattoreissa ja veneiden moottoreissa. Nämä ovat kategorian I moottoreita.

Marine Diesel Oil eli MDO:

MDO koostuu suurelta osin tisleistä, mutta sisältää pienen määrän jäännöstuotteita. Jäännöstuotteiden prosenttimäärä jää yleensä noin 15-20% väliin. Yleisesti MDO ei tarvitse lämmitystä. Tuotteella on olemassa riski parafiinien kristallisoitumiseen matalissa lämpötiloissa, joka saattaa aiheuttaa tukoksia putkistoihin ja polttoainesuodattimiin. Voidaan sanoa, että MDO on käytössä lähes kaikissa nopeakäyntisissä dieselmoottoreissa eli kategorian I ja II moottoreissa.

Raskas polttoöljy eli HFO:

HFO koostuu pääasiassa useista eri jäännöstuotteista, sekoitettuna kevyemmällä polttoaineilla. Sekoittamalla kevyempiä polttoaineita joukkoon, saavutetaan oikea viskositeetti. Riippuen sekoitteen tyypistä, HFO vaatii lämmitystä aina 150 °C asti, jotta optimaalinen palaminen voidaan saavuttaa. HFO:a käytetään suurissa hidaskäyntisissä kaksitahtimoottoreissa ja suuremmissa keskinopeissa nelitahtimoottoreissa eli kategorian III ja IV moottoreissa.

#### 6.4 Rikkipitoisuuden laskeminen polttoaineissa

Haitallisten ympäristövaikutusten vähentämiseksi säännöksiä koskien rikkipitoisuutta polttoaineissa tiukennetaan jatkuvasti. Säännökset eriävät sisävesillä, rannikkoalueilla ja erikseen määritellyillä erityisalueilla kuten SECA-alueilla, ja niiden tiukkuus vaihtelee operointialueen herkkyyden ja haavoittuvuuden mukaan.

Käytössä olevat dieselmoottorit tarvitsevat sertifiointin, joka osoittaa, että moottorit täyttävät päästönormit. Säännöt ja määräykset kiristyvät kansainväliselle merenkululle ja dieselvoimalaitoksille jatkuvasti.

Teknisesti katsoen on melko yksinkertaista vähentää rikkipitoisuutta moottoreiden polttoaineissa. Säännöt koskien kaasuöljyn ja dieselöljyn suurinta sallittua rikkipitoisuutta ovat jo tiukat. Euroopan aluevesillä laivojen on voitava todistaa, että laivan käyttämä polttoaine sisältää maksimissaan 0,1 prosenttiyksikköä rikkiä. Laivat, jotka käyttävät valtamerillä raskasta polttoöljyä polttoaineenaan, joutuvat varaamaan tankkitilaa matalarikkiselle polttoaineelle, jota niiden on käytettävä laivojen operoimissa erityisalueilla. Matalarikkisten polttoaineiden kustannukset perustuvat pitkälti kysynnän ja tarjonnan lakiin, mutta joka tapauksessa kustannukset ovat huomattavasti korkeammat kuin normaalilla raskaalla polttoöljyllä. Lisäksi niiden saatavuus on heikompi, tosin tämä seikka varmasti paranee kysynnän edelleen kasvaessa.

Polttoaineiden rikkipitoisuuden laskemisen lisäksi tulevat kysymykseen rikkipesurit, joiden avulla rikki pestään pakokaasuista ja asetetut päästönormit saavutetaan. Harkinnan varaista on, tuleeko edullisemmaksi asentaa kallis rikkipesuri vai operoida

laivaa matalarikkisellä polttoaineella. Tähän vaikuttaa muun muassa laivan reitti ja aluksen odotettu käyttöikä.

## 6.5 Alusten polttoainejärjestelmät

Ensimmäinen vaihe ennen polttoaineen käyttöä, on täydentää polttoaine laivan varastotankkeihin. Tätä prosessia kutsutaan bunkkerin ottamiseksi tai bunkraamiseksi. Bunkrauksessa alukseen tilattu polttoainemäärä ja -laatu pumpataan bunkkeriproomuista tai säiliöautoista letkujen välityksellä laivaan. Polttoaine siirtyy aluksen putkistoon, josta se edelleen johdetaan polttoaineen varastotankkeihin. Ennen polttoaineen käyttöä dieselmoottoreissa, täytyy polttoaine varastoida, puhdistaa ja käsitellä.

## 6.6 Polttoaineen varastointi

Polttoaineen varastointitapa riippuu valtavasti aluksesta ja sen käyttämisestä moottoreista, polttoainetyypeistä ja operointiajasta. Polttoaineen varastointi tulee kuitenkin aina tapahtua niin, että polttoaine ei voi saastua korroosion, hiekan tai muiden epäpuhtauksien johdosta. Kondensoitunut ja polttoaineen mukana tullut vesi tulisi poistaa tankeista, prosessia kutsutaan laivoilla yleisesti tankkien ”dreinaamiseksi”.

Pienille kategorian I moottoreille yksinkertainen polttoainetankki saattaa riittää, kun taas kategorian III ja IV moottorit, jotka kuluttavat valtavia määriä raskasta polttoöljyä, vaativat suuret lämmitettävissä olevat varastotankit. Varastotankeista on tärkeää tietää seuraavat asiat:

- Varastotankkiin ei saa ikinä muodostua ylipainetta. Tästä johtuen tankit ovat aina varustettuja huohotusputkella, joka sijaitsee tankin yläosassa.
- Pohjatankkeja lukuun ottamatta polttoainetankit tulee aina varustaa dreinausventtiilillä.
- Miesluukut tai ”manusluukut” mahdollistavat tankkien kunnon seuraamisen ja tankkien puhtauden tarkastamisen. On äärimmäisen tärkeää muistaa, että tankki on tuuletettava huolellisesti, eikä sisään saa mennä ilman tankkityölupaa ja tarvittavia kaasumittauksia.

- Imuputkea ei tule asentaa aivan tankin pohjalle, vaan jonkin verran sen yläpuolelle. Näin estetään lian ja sedimentin pääsy polttoainelinjoihin.
- Mahdolliset näkölasit sekä niiden venttiilit tulee pitää suljettuna aina, ja ne tulee avata vain lukemista varten.

## 6.7 Huomioitavaa polttoaineista

Polttoainetta tilattaessa tulee laskea polttoaineen määrä, joka tarvitaan merimatkalta, tai joka on riittävä seuraavaan tiedossa olevaan bunkraukseen asti. Määriä laskettaessa on huomioitava vaadittu reservi ja mahdolliset häiriötilanteet merimatkoilla.

Käyttöön otettavan polttoaineen laadusta tulee varmistua polttoainenäytteiden avulla. Nämä lähetetään usein ulkopuoliseen, puolueettomaan laboratorioon analysoitaviksi.

Polttoaine tulee puhdistaa huolellisesti käyttäen suodattimia ja/tai separaattoreita. Riittävä määrä polttoainetta määrättyssä paineessa ja lämpötilassa syötetään moottorille. Polttoaineen täytyy vastata ominaisuuksiltaan voimassaolevan ISO 8217 standardin vaatimuksia sekä myös paikallisia määräyksiä, kuten rikkipitoisuutta koskevia säännöksiä. Tämän lisäksi polttoaineen pitää täyttää valmistajan moottorityypille asettamat vaatimukset. Tämä on tärkeää myös mahdollisten esiintyvien häiriötilanteiden tai poikkeavan moottorin kulumisen kannalta.

## 6.8 Polttoainejärjestelmät moottoriluokituksen mukaan

### 6.8.1 Kategorian I dieselmoottorit

Yleisesti tämän kategorian moottoreissa käytetään varsin yksinkertaisia polttoainejärjestelmiä. Moottorin yläpuolelle sijoitetusta tankista polttoaine kulkee painovoimaisesti polttoainesuodattimen läpi moottorin korkeapainepumpulle. Moottorilta tankille kulkee paluulinja, josta ylimääräpolttoaine palaa takaisin tankkiin. Jos tankkia ei ole sijoitettu moottorin yläpuolelle, on moottori varustettava matalapaineisella polttoaineen siirtopumpulla. On tärkeää, että suodatin, siirtopumppu ja polttoainelinjat pysytään helposti ilmaamaan.



### 6.8.2 Kategorian II dieselmoottorit

Moottorit voidaan varustaa joko omalla korkeapaineisella polttoainepumpulla jokaista sylinteriä kohden, tai yhdellä rivipumpulla kaikille sylintereille. Tämä pätee myös kategorian I moottoreille. Tämän kategorian suuremmilla moottoreilla on yleensä useampi puhtaan polttoaineen tankki. Moottoreissa on kaksi polttoainesuodattinta, joten käytössä olevan suodattimen tukkeutuessa on mahdollista kääntää polttoaineen virtaus toisen suodattimen läpi. Polttoaineelle on paluulinja takaisin tankkiin. Tämän kategorian suuremmat moottorit, yli 1000kW, ovat usein varustettu polttoaineseparaattoreilla. Separattorit puhdistavat polttoaineen ja samalla siirtävät sen varastotankista puhtaan polttoaineen tankkiin, jota kutsutaan usein päivätankiksi (day tank).

### 6.8.3 Kategorian III ja IV dieselmoottorit

Näiden kategorioiden moottorit käyttävät hyvin kehittyneitä polttoainejärjestelmiä.

Raskas polttoöljy täytyy puhdistaa ja sille täytyy muodostaa oikea paine ja lämpötila, ennen kuin se siirtyy korkeapaineputkistoon. Polttoaine täytyy pitää oikeissa lämpötiloissa koko polttoainejärjestelmän kaikissa vaiheissa. Tämä vaatii tankkien ja putkilinjojen hyvää eristämistä ja tankkeihin, separaattoreihin ja suodattimiin on asennettava esilämmitys. Tämän lisäksi osa putkistosta varustetaan vesi-, höyry- tai sähkölämmityslinjoilla, joita kutsutaan nimityksellä trace heating. Varastotankeista, joita kutsutaan myös pohjatankeiksi, polttoaine pumpataan siirtopumpulla selkeytystankkeihin eli settling tankkeihin. Settling tankeissa polttoainetta lämmitetään kuumemmaksi kuin se on varastotankeissa. Lämmitys saa veden ja epäpuhtaudet erottumaan eli setlaantumaan polttoaineesta ja painumaan tankin pohjalle. Tankin pohjalta kertynyt vesi ja sen mukana osa epäpuhtauksista voidaan poistaa dreinaamalla. Polttoaine imetään settling tankista separaattorin imupumpulla lämmönvaihtimen läpi separaattoriin, josta likainen jäännöstuote eli niin kutsuttu sludge johdetaan aluksen sludge tankkiin. Separattori pumppaa puhdistetun polttoaineen lämmitettyyn päivätankkiin.

omalla pumpullaan. Päivätankista polttoaine kulkee suodattimen läpi usein automaattifiltteriin syöttöpumpun välityksellä (feed pump). Automaattifiltteri on suodatin-kynttilöillä varustettu suodatin, joka puhdistaa itse itseään ”ampumalla”. Puhdistettu polttoaine kulkee sekoitustankin (mixing tank) kautta virtausmittarin (flow meter) läpi kierrätyspumpuille (circulating pumps). Esilämmittimet (pre-heaters) säätelevät ja lämmitetyn polttoaineen lämpötilan juuri halutuksi, tätä säätelee ja valvoo järjestelmään asennettu viskometri. Polttoaine kulkee moottorin hienosuodattimien (fine filters) läpi moottorin polttoainepumpuille ja käyttöön.



Kuva 12. Alfa Laval -separaattoreita.

## 6.9 Polttoaineen ruiskutus

Polttoaineenruiskutusprosessi on ollut dieselmoottorin tärkein keskipiste aina ensimmäisestä toimivasta dieselmoottorista asti. Nopea ja kokonainen polttoaineen palaminen on täysi välttämättömyys dieselmoottoreiden optimaaliselle toiminnalle. Näin saavutetaan matalampi polttoaineen kulutus ja pienemmät pakokaasupäästöt, jotka ovat tulleet yhä tärkeämmiksi. Polttoaineenruiskutusjärjestelmät ovat olleet jatkuvan säädön, muokkauksen ja aika-ajoin täydellisen uudelleensuunnittelun alaisina koko sen ajan, kun dieselmoottorit ovat olleet käytössä. Yksi uusimmista kehitysasteleista on common-rail -ruiskutusjärjestelmä. Nämä elektronisesti hallitut ruiskutustekniikat ovat olleet käytössä pienissä moottoreissa, kuten autoissa, jo yli vuosikymmenen, mutta laivoille ne ovat tehneet tuloaan vasta myöhemmin.

Periaate sekä perinteisillä, että moderneilla ruiskutustavoilla on sama. Hyvin lyhyessä ajassa ruiskutussuuttimet säätelevät tarkasti polttoaineen määrän, joka ruiskutetaan sylinteriin sellaisella tavalla, että erittäin pikainen ja täydellinen palaminen tapahtuu. Palamisprosessi dieselmoottorissa tapahtuu vain sekunnin murto-osissa. Kategorian I, 3000 kierrosta minuutissa kiertävässä moottorissa, ruiskutusten määrä on peräti 25 sekunnissa. Suuressa kaksitahtisessa kategorian IV moottorissa, jonka kierrosluku on 94 rpm, tapahtuu 1,566 ruiskutusta sekunnissa. Polttoaine ruiskutetaan noin 15 astetta ennen yläkuoloa, ja ruiskutus päättyy noin 15 astetta yläkuolokohdan jälkeen.

### 6.9.1 Common rail -järjestelmä

Tässä järjestelmässä nokka-akselikäyttöinen korkeapainepumppu on korvattu nykyaikaisemmalla teknologialla. Polttoaineen paine common-rail -järjestelmissä on varsin korkea, 1000-2000 bar. Polttoaineen ruiskutusta säädellään elektronisesti. Tätä teknologiaa käytetään kaikissa moottorikategorioissa ja jatkuvasti enenevin määrin. Polttoaineenpaine suuttimille voidaan saavuttaa yhdellä tai useammalla pumpulla. Pumput voivat olla nokka-akseli käyttöisiä, tai voimansa suoraan kampiakselilta saavia. Suurissa nelitahtimoottoreissa jokaista tai joka toista sylinteriä kohden on oma

korkeapainepumppu, josta korkeapaineinen polttoaine siirtyy paineakulle. Paineakku jakaa polttoaineen sylintereille. Yleensä kahta sylinteriä kohden on yksi paineakku. Elektronisesti ohjatut ja hydraulisesti toimivat polttoainesuuttimet ruiskuttavat polttoaineen sylinteriin. Polttoaineen ruiskutuksen ajoitusta ja määrää voidaan säätää tarkasti moottorin kuorman mukaan, näin saadaan polttoaineenkulutus laskemaan ja NOx sekä nokipartikkelit vähenemään minimiin.



Kuva 13. Wärtsilä common rail -moottorin polttoainepumppuja.



Kuva 14. Wärtsilä common rail -moottorin paineakku.





Kuva 15. Wärtsilä common rail -moottorin ruiskutus-suuttimia.

### 6.10 Ruiskutuksen vaiheet

Polttoaineen ruiskutus dieselmoottoreissa voidaan jakaa neljään vaiheeseen seuraavasti

#### Vaihe I: Sytytysviive

Sylinteriin ruiskutetut erittäin pienet pisarat lämpenevät kuuman, puristetun ilman toimesta. Ne höyrystyvät ja sekoittuvat ilmaan. Joidenkin sekunnin tuhannesosien jälkeen, sekoitus syttyy. Aika, joka kuluu siinä välissä, kun polttoaine tulee sylinteriin ja ennen kuin sekoitus syttyy, on nimeltään sytytysviive. Viiveeseen vaikuttaa puristusaine ja -lämpötila, palotilan muotoilu sekä polttoainetyyppi. Mitä raskaampi polttoaine, sitä suurempi viive. Kaasuöljyllä ja dieselöljyllä tämä aika on hyvin lyhyt,

ollen vain joitain sekunnin tuhannesosia. HFO:lla aika on huomattavasti pidempi.

#### Vaihe II: Hallitsematon syttyminen

Siitä hetkestä, kun polttoaine syttyy, tapahtuu äärimmäisen nopea syttyvien kaasujen paineen ja lämpötilan nousu sylinterissä.

#### Vaihe III: Osittain hallittu palaminen

Sytytysviiveen jälkeen, polttoaineen ruiskutus ja syttyminen tapahtuvat suhteellisen hallitusti. Lämmön tuotto nousee suhteessa polttoaineen määrän kanssa. Mitä suurempi määrä ilmaa käytetään, sitä pienempi määrä lämpöä muodostuu.

#### Vaihe IV: Jälkipalaminen

Polttoaineen ruiskutus päättyy, kun vaikuttava polttoainepumpun puristustahti päättyy. Neulaventtiili sulkeutuu korkeapaineputkistossa nopeasti laskevan paineen vaikutuksesta. Tänä hetkenä viimeiset ruiskutetut polttoaineet poltetaan. Siihen mennessä, kun pakiventtiili avautuu, kaikki tarvittava polttoaine täytyy olla poltettuna. Näin vältetään se, että venttiilit ja seetit eivät ylikuumene.

## 7 APULAITTEISTOT

### 7.1 Polttoaineenkäsittelyjärjestelmät

Tänä päivänä laivoihin voidaan toimittaa valmiita, kokonaisia polttoaineenkäsittelymoduuleja kiinnitettynä omalle rungolle. Nämä moduulit voidaan liittää suoraan aluksen polttoaine- ja hälytysjärjestelmiin sekä aluksen sähköverkkoon. Moduulit kootaan, testataan ja tarkistetaan tehtaalla ja myöhemmin asennetaan laivaan. Tällaisten moduulien etuina ovat lyhyet toimitus- ja asennusajat sekä pieni koko. Näitä polttoaineenkäsittelyjärjestelmiä kutsutaan boosteryksiköiksi (booster unit). Maailmanlaajuisesti on noin tusina yritystä, jotka ovat erikoistuneet näihin laitteistoihin. Järjestelmä toimii niin, että yksi syöttöpumpuista (feed pump) imee polttoainetta päivätankista imusuodattimen läpi ja pumppaa polttoaineen sekoitustankin (mixing tank) läpi kierrätyspumpuille (circulating pumps). Yhdellä syöttöpumpulla on aina suurempi

kapasiteetti, kuin moottorin suurin polttoaineen kulutus on. Murto-osa polttoaineesta palaa takaisin imulinjaan. Kierrätyspumppujen välityksellä polttoaine kulkeutuu automaattifilterille, josta se ohjataan virtausmittarille. Virtausmittarilta polttoaine jatkaa esilämmittimen läpi viskometrille, jonka jälkeen polttoaine saavuttaa moottorin omat suodattimet. Polttoaineen paine imulinjassa pidetään sellaisena, että polttoaine ei voi kiehua, sillä kiehumisesta aiheutuvat kaasutaskut voivat vahingoittaa polttoainepumppuja pahoin. Painetta voidaan säätää jousikuormitteisella ”pressure retaining” venttiilillä, josta ylimääräpolttoaine virtaa takaisin sekoitustankkiin. Sekoitustankki varmistaa tasaisen paineen ennen kuin polttoaine siirtyy kierrätyspumppuille. Kierrätyspumppujen kapasiteetti on huomattavasti suurempi kuin moottorin suurin mahdollinen polttoaineen kulutus on.

#### 7.1.1 Polttoaineen automaattisuodatin

Automaattisuodatin on erinäisten nesteiden puhdistamiseen tarkoitettu suodatinyksikkö. Suodatusvaiheessa neste virtaa suodatinelementin läpi, ja likapartikkelit jäävät kiinni suodattimen pinnalle. Suodattimen tyypistä riippuen neste voidaan ohjata kulkemaan suodattimen sisäpuolelta ulkopuolelle tai päinvastoin. Puhdistettu neste ohjataan ulos suodatinyksiköstä. Kun paine-ero kasvaa ennalta määrätylle tasolle, lähtee signaali paine-ero indikaattorilta ohjauslogiikalle, joka automaattisesti käynnistää takaisinvirtausvaiheen (backflush). Takaisinvirtauksessa likapartikkelit huuhdotaan suodatinpinnalta pois kääntämällä nesteen kulkusuunta tai vaihtoehtoisesti erillisen huuhtelunesteen tai paineilman avulla. Suositeltava sijainti automaattisuodattimelle on ”kylmä” paikka järjestelmässä, juuri ennen boosteripumppuja. Tässä kohtaa nesteen virtaus on paljon hitaampaa kuin kierrätyspumppujen jälkeen ja vain käytetty polttoaine puhdistetaan. Tämä mahdollistaa huomattavasti pienemmän suodattimen asentamisen järjestelmään. Polttoaine on stabiilimpaa matalissa lämpötiloissa ja hiilivedyt eivät ole erottuneet.





Kuva 16. Polttoaineen automaattisuodatin.



Kuva 17. Boosteriyksikkö.

### 7.1.2 Viskometri

Viskometrillä valvotaan ja säädetään polttoaine haluttuun viskositeettiarvoon. Viskositeettisensori on kytketty ohjauspaneeliin eli kontrolleriin, johon haluttu polttoaineen viskositeettiarvo asetetaan, ja johon polttoaineen lämpötila säätyy tämän mukaan. On huomioitava, että nimenomaan oikea viskositeetti on tärkeää, ei niinkään polttoaineen lämpötila. Viskositeettisensori asennetaan polttoaineen syöttöputkistossa juuri ennen moottoria, paikkaan, jossa on täysi polttoaineen virtaus. Pitääkseen viskositeetin, joka on asetettu kontrolleriin, säätöventtiili säättää höyryn tai lämpööljyn eli thermal oilin virtausta polttoaineen esilämmittimeen. Normaalisissa operoinnissa järjestelmään aina rakennettu sensorin ohituslinja pidetään suljettuna ja viskometri huolehtii polttoaineen lämpötilaan perustuvan viskositeetin säätämisestä. Yksi polttoaineen esilämmitin pitäisi olla riittävä oikean viskositeetin saavuttamiseksi, jolloin toinen esilämmitin toimii varakäyttönä. Itse sensori koostuu ruostumattomasta



teräksestä valmistetusta heilurista, joka on kiinnitetty pohjalevyyn vääntöputken välityksellä.



Kuva 18. Viskometrinn kontrolleri.

## 7.2 Moottoreiden jäähdytysjärjestelmät

Diesel-, dualfuel- ja kaasumoottorit tarvitsevat toimiakseen jäähdytysjärjestelmän. Palamisprosessin aikana lämpötilat sylinterissä voivat hetkellisesti nousta jopa 2000 celsiusasteeseen. Pakokaasujen poistuessa niiden lämpötila vaihtelee 325 ja 600 celsiusasteen välillä. Ilman jäähdytysjärjestelmää komponentit ja materiaalit, jotka altistuvat kuumille pakokaasuille, vahingoittuisivat pahoin. Käytännössä moottori ilman jäähdytystä siis vahingoittuisi käyttökelvottomaksi jo melko nopeassa ajassa. Tästä syystä jäähdytysjärjestelmä on välttämätön, ollen tärkeä lähtökohta ja kehityksen kohde insinööreille uusia moottorimalleja suunniteltaessa.



Kuva 19. Wärtsilän nelitahtimoottorin konevetoiset LT- ja HT-jäähdytysvesipumput.

Seuraavat moottorin komponentit ovat alttiita kuumille palokaasuille ja tarvitsevat jäähdytystä:

- Sylinterikannet
- Männän kruunut ja männänrenkaat
- Sylinteriputkien yläosat
- Pakoventtiilit ja pakoseetit
- Ruiskutussuuttimen se osa, joka sijaitsee palotilan lähdeisyydessä
- Osa turboahtimen komponenteista, kuten laakerit
- Kaksitahtisissa ristipäämoottoreissa jäähdytetään myös liukujohteet kitkan aiheuttaman lämmön vuoksi.

Ahtoilmaa jäähdyttimessä jäähdytettäessä sen lämpötila laskee merkittävästi, Näin ollen ilman virratessa sylinteriin jäähdyttää se moottoria sisäisesti. Nelitahtisissa uppomäntämoottoreissa sylinteriin virtaa jäähdytettyä ilmaa imutahdin aikana. Kaksi-tahtimoottoreissa ilma taas virtaa sisään, kun mäntä kulkee alas ja imuportit vapautuvat.

### 7.2.1 Moottoreiden jäähdytysaineet

Moottoreiden jäähdyttämiseen voidaan käyttää merivettä, makeaa vettä, jäähdytysnesteitä, voiteluöljyä ja/tai polttoainetta. Näiden lisäksi myös ilmaa käytetään jäähdyttämiseen.

### 7.2.2 Meriveden käyttö jäähdytyksessä

Hyödyt:

Merivedellä on korkea ominaislämpö suhteellisen korkealla tiheydellä. Tästä johtuen voidaan käyttää melko pieniä jäähdytysvesipumppuja ja jäähdyttimiä poistamaan ei-toivottu lämpö järjestelmästä. Lämmennyt merivesi voidaan pumpata suoraan takaisin mereen ja koko järjestelmän konsepti on hyvin yksinkertainen.

Haitat:

Merivedellä on korkea mineraalipitoisuus. Mineraalit voivat lämmitessään kiteytyä jäähdytyspinnoille ja muodostaa kalkkia. Kalkkipinnoite on kova pinta, joka vähentää jäähdytyskapasiteettia ja saattaa aiheuttaa tukoksia jäähdytyskanaviin. Lisäksi meriveden suuri kloridipitoisuus voi aiheuttaa korroosiota jäähdytysjärjestelmässä. Juuri tämän takia merivettä käytetään ainoastaan jäähdytykseen epäsuorasti lämmönvaihtimen välityksellä, joka jäähdyttää varsinaisen jäähdytysvesijärjestelmän. Merivesiosiot suunnitellaan olemaan niin lyhyitä kuin mahdollista ja materiaalien tulee olla merivedenkestäviä.

### 7.2.3 Makeanveden käyttö jäähdytyksessä

Makealla vedellä on samat hyödyt kuin merivedelläkin. Makean veden etuna on kuitenkin se, että se ei aiheuta korroosiota tai muodosta kalkkikerrostumia. Makeavesijärjestelmässä ei saa olla läsnä ilmaa ja vesi on aina pehmennettävä. Makeaan veden käsittelyyn käytetään kemikaaleja. Makeavesijärjestelmä on aina suljettu järjestelmä. Vuoto- tai vedenvaihtotapauksessa makeaa vettä lisätään järjestelmään varastotankeista. Useimmilla laivoilla on mahdollisuus valmistaa makeaa vettä merivedestä evaporaattorilla tai käänteisosmoosilaitteilla. Nämä laitteet mahdollistavat sekä juomaveden, että teknisen veden valmistamisen. Juuri teknistä vettä käytetään moottoreiden jäähdyttämiseen, tavallinen juomavesi ei kelpaa dieselmoottoreille. Pienikin suolamäärä korkeissa lämpötiloissa operoivilla moottoreilla muodostaa kalkkikerroksen, joka voi aiheuttaa moottoreiden komponentteihin murtumia.

Järjestelmässä on paisuntasäiliö, joka kompensoi volyymimuutokset lämpötilan muuttuessa, sekä toimii järjestelmän ilmaajana ja varastotankkina. Pumput eivät ole itsensä ilmaavia, joten ongelmien välttämiseksi pumppujen imupuolella on aina staattinen paine. Näin vesi saadaan virtaamaan heti kun moottori käynnistetään. Staattinen paine saadaan luotua sijoittamalla paisuntasäiliö tietylle korkeudelle verrattuna pumppujen korkeuteen. Yleensä paisuntasäiliö on 5-15 metrin korkeudella pumppujen yläpuolella.



Kuva 20. Kaksi Alfa Laval -evaporaattoria.

#### 7.2.4 Voiteluöljyn käyttö jäähdytyksessä

Voiteluöljyn toinen tärkeä tehtävä itse voitelun lisäksi on lämmön siirtäminen. Esimerkiksi palamisprosessissa mäntien tuottama lämpö, sekä laakereiden kitkan synnyttämä lämpö poistetaan voiteluöljyyn. Pienissä moottoreissa mäntä jäähdytetään yksinkertaisesti öljysuuttimella, joka on kiinnitetty sylinteriputkeen. Öljyä ei tarvitse erikseen poistaa sylinteristä, vaan se valuu takaisin öljypohjaan. Suuremmissa moottoreissa öljy saatetaan männälle kiertokangessa olevien porausten läpi ja se poistuu samalla metodilla.

Voiteluöljyn tapauksessa tulee huomioida, että öljy oksidoiduu korkeissa lämpötiloissa ja näin ollen voi muodostaa hiilikerroksen jäähdytettävien kappaleiden pinnoille. Myös voiteluöljyjäähdyttimissä saattaa ilmetä ongelmia, jos voiteluöljyn lämpötila on liian korkea.



### 7.2.5 Ilman käyttö jäähdytyksessä

Kategorian I moottoreissa aina 100kW asti käytetään usein vain ilmaa moottorin jäähdytykseen. Erittäin matalan tiheyden ja ominaislämpönsä vuoksi ilma soveltuu käytettäväksi vain pienitehoisiin moottoreihin, joissa muodostuu vain vähäinen lämpökuorma. Kiertokankikäyttöinen tuuletin pakottaa kylmää ilmaa kanavointien läpi sylintereille. Ilman mukana saattaa päästä likapartikkeleita jäähdytettäviin komponentteihin.

### 7.2.6 Levylämmönvaihtajat

Laivoissa usein nähtävät levylämmönvaihtajat ovat yleisin tapa aluksilla nesteiden, kuten makean veden, öljyn ja polttoaineiden jäähdyttämiseen. Jäähdytettävä neste virtaa toisella puolella lämmönvaihdinta useiden peräkkäin järjestettyjen levyjen rei'itysten läpi. Toisella puolella lämmönvaihtajaa virtaa viileä, jäähdytettävää nestettä kylmempi neste. Esimerkiksi moottorin lämmennyt jäähdytysvesi toisella puolella ja viileä merivesi toisella. Viileämpi merivesi saa moottorin lämmenneen jäähdytysveden luovuttamaan osan lämmöstään meriveteen, joka sitten johdetaan takaisin mereen. Jokaisen lämmönvaihtajan levyn välissä on tiiviste, jotta nesteet ei pääse sekoittumaan. Levylämmönvaihtajan jäähdytyskapasiteettia saadaan muutettua levyjen määrää muuttamalla, vähemmän levyjä tarkoittaa pienempää jäähdytyskapasiteettia ja päinvastoin. Käytössä jäähdytysveden lämpötilaa saadaan ohjattua bypass-venttiilillä, joka varsinkin modernimmissa laivoissa säätää lämmönvaihtajaan virtaavan meriveden määrää automaattisesti, pitäen jäähdytettävän nesteen lämpötilan sille asetetussa arvossa.

### 7.2.7 Huomioita jäähdytysvesijärjestelmistä

- Käytä vain puhdistettua vettä jäähdytysvetenä.
- Jäähdytysveden käsittely kemikaaleilla on välttämätöntä. Valmistajan ohjeita tulee seurata.
- Jäähdytysvedelle täytyy suorittaa laaduntarkastuksia säännöllisesti.
- Jäähdytysveden ilmaaminen on erittäin tärkeää.



- Sellaisten huoltojen aikana, jotka vaativat koneen tyhjentämisen jäähdytysvedestä, varastoidaan jäähdytysvesi sille varattuun säilytystankkiin. Tankin on oltava puhdas.
- Jäähdytysveden painetta ja lämpötilaa tulee seurata. Epänormaalit vaihtelut voivat olla seurausta toimimattomista pumpuista tai automaatioviasta.
- Kun moottorit eivät ole käynnissä, esilämmitys jäähdytysvedellä on pakollista. Tämä estää moottoriin kohdistuvat lämpöjännitykset ja -laajenemiset.



Kuva 21. Pienempi levylämmönvaihdin HT-veden jäähdytykseen ja suurempi LT-veden jäähdytykseen.

## 7.3 Moottoreiden voiteluöljyjärjestelmät

### 7.3.1 Voitelun tarkoitus

Liikkuvien osien kitkan ja kulumisen vähentäminen:

On selvää, että kitkan moottoreissa tulisi olla mahdollisimman pieni, koska kitka aiheuttaa kulumista. Kitkalle alttiita komponentteja moottorissa ovat muun muassa männät, männänrenkaat, sylinteriputket, laakerit, akselit, venttiilinvarret, hammasratat ja polttoainepumppujen männät. Näiden käyttötunnit vaihtelevat 10 000-60 000 tunnin välillä.

Komponenttien jäähditys:

Voiteluöljy jäähdyttää moottorin osia. Siirrettävät lämpömäärät ovat merkittäviä, erityisesti männän tapauksessa.

Kitkasta aiheutuvan lämmön poistaminen:

Voiteluöljy poistaa kitkasta aiheutuvaa lämpöä, lämmön määrä on kuitenkin melko vähäinen.

Pintojen suojaaminen korroosiolta:

Pääasiassa moottorin komponentteja ei käsitellä korroosion estämiseksi, koska voiteluöljy sopii varsin hyvin pintojen suojaamiseksi.

Voiteluaine tiivisteenä:

Öljy tiivistää esimerkiksi männät, männänrenkaat sekä sylinteriputket.

Huuhtelu:

Voiteluöljy sitoo itseensä ja huuhtelee mukanaan erinäisiä kulumisesta, vedestä ja liasta syntyviä epäpuhtauksia.

### 7.3.2 Voitelutavat

Hydrodynaaminen tai öljykalvovoitelu:

Kun kaksi yhdenmukaista voideltavaa pintaa ovat erillään toisistaan, muodostuu niiden välille öljykalvo. Kalvon paksuus on joitakin mikronin kymmenyksiä tai sadasosia. Esimeriksi kampiakselin pyöriessä muodostuva voiteluöljyn paine kampiakselin laakereissa kannattelee akselia. Paine voi muodostua jopa 1000 baariin asti tietyissä laakerin kohdissa.

Hydrostaattinen voitelu:

Tässä voitelujärjestelmässä voiteluöljyn paine luodaan joko pumpulla tai korkeammalle tasolle nostetulla tankilla. Myös tässä kaksi pintaa ovat erillään toisistaan öljykalvon välityksellä. Tätä käytetään usein kaksitahtimoottoreiden ristipääkappaleissa, joissa öljynpaine vaihtelee 20-30 bar välillä. Kannatellessaan höyryturbiinien raskaita akseleita käynnistyksen aikana edellä mainitun ”nostemetodin” avulla, paine voi olla jopa yli 100 bar.

Rajavoitelu:

Rajavoitelussa pinnat ovat suoraan kosketuksissa toisiinsa. Jos rajavoitelulta ei voida välttyä esimerkiksi akselien ja laakerien tapauksessa, tulisi niiden kosketuksissa olevat pinnat olla ehdottoman sileitä. Yleisiä metodeja pintojen sileyden saavuttamiseksi ovat päällystäminen kromilla, tai hiominen ja kiillottaminen.

### 7.3.3 Komponentit, jotka tarvitsevat voitelua

Karkeasti sanottuna kaikki moottorin liikkuvat osat tarvitsevat voitelua. Jos liikkuvia osia ei ole erotettu toisistaan voiteluöljykalvolla, kuluvat ne todella nopeasti. Tämän lisäksi kitkan ja palamisprosessin tuottama lämpö täytyy poistaa voiteluöljyyn. Seuraavat komponentit tarvitsevat voitelua ja jäähtytystä:

- Kampiakseli laakereineen
- Mäntä, männäntappi ja männänrenkaat
- Kiertokanki laakereineen
- Nokka-akseli laakereineen
- Nokat, työntötangot, keinuivut, venttiilinjouset ja -varret
- Tietyt osat polttoainepumpuista
- Sylinteriputki (männän välityksellä)
- Vaihteisto kampiakselin ja nokka-akselin välillä

Kaksitahtisissa ristipäämoottoreissa myös männän varsi ja sylinteriholkki tarvitsevat voitelua, aivan kuten ristikappalekin. Sylinteriputkelle on erillinen voitelujärjestelmä.

Moottoreissa, joissa on mekaaninen säätäjä, on sille oma erillinen voitelujärjestelmänsä. Turboahdinten laakereilla ja akseleilla on joko oma voiteluöljyjärjestelmänsä, tai ne voivat olla yhdistettyinä moottorin voiteluöljyjärjestelmään.

#### 7.3.4 Voiteluöljyjärjestelmä

Yleinen voiteluöljyjärjestelmä koostuu yleensä seuraavista komponenteista:

- Voiteluöljypumppu
- Voiteluöljyjäähdytin
- Voiteluöljysuodatin
- Voiteluöljyputkisto
- Osissa olevat poraukset voiteluöljyn kulkua varten



Kuva 22. Kuvan ylälaudassa nähtävissä voiteluöljyjäähdytin.

## 8 MOOTTOREIDEN OPEROINTI JA HALLINTA

Tänä päivänä yhä useammat moottorit kaikista moottorikategorioista ovat kauko-ohjattuja niin hallinnan kuin operoinninkin näkökulmista. Dieselmoottoriteollisuus on muuttunut radikaalisti tietoliikennetekniikan ja tietokoneiden ansiosta viimeisen 25 vuoden aikana. Ennen oli normaali käytäntö, että moottoreiden käydessä piti myös henkilöstön olla paikalla konehuoneessa. Nykyään on täysin normaalia, niin pienissä rannikkoaluksissa kuin suurissa valtamerialuksissakin, että konehuone voidaan jättää miehittämättömäksi esimerkiksi yön ajaksi. On kuitenkin joitain poikkeuksia, kuten matkustajalaivat. Näissä laki velvoittaa konehuoneen operoinnista niin, että konehuoneen tulee olla aina miehitetty. Suuri 100 000 kW tehoinen ja usean sadan metrin pituinen konttilaiva voi siis seilata merellä niin, että vain yksi päällystön edustaja on työvuorossa komentosillalla muun miehistön levätessä. Vaikka ajatus näistä valtavista laivoista ilman ihmisen jatkuvaa vuorovaikutusta voi tuntua absurdilta, tilastot osoittavat, että vain hyvin harvoin tapahtuu onnettomuuksia, jotka voitaisiin yhdistää edellä mainittuun.

### 8.1 Dieselmoottoreiden automaatio

Kaikki moottorista saatava olennainen data on luettavissa monitoreilta ja se tallennetaan niin, että se on myös myöhemmin saavutettavissa. Tämä tulee erityisen hyödylliseksi vikatilanteissa. Tietoa voidaan lähettää eteenpäin esimerkiksi moottorivalmistajalle tai laivan omistaman yhtiön käyttöön. Suurilla moottorivalmistajilla on oma jatkuvatoiminen tukipalvelu, joka voi lähettää olennaista vertailukelpoista dataa tai opastaa käyttäjiä etänä.

## 8.2 Moottorin operointi

Dieselmootoreiden operointi on tänä päivänä kauko-ohjattua. Moottorin kuormaa tai nopeutta voidaan muuttaa etänä, aivan kuten moottori voidaan käynnistää ja pysäyttääkin. Näiden käskyjen toteutustapa vaihtelee, ne voivat tapahtua mekaanisesti, hydraulisesti, pneumaattisesti, sähköisesti, elektronisesti tai jopa radio-ohjattuna.

## 8.3 Konehälytykset

Kaikki tärkeä tieto, kuten paine, kuorma, nopeus, nestepintojen korkeudet ja vastaavat, ovat jatkuvan mittauksen alaisena. Näitä suureita mittaavat laitteet ovat varustettu hälytyksillä. Varsinkin toimintakunnon varmistavat kriittiset hälytykset toimivat usein niin, että mitattavasta suureesta tulee kaksi hälytystä. Hyvänä esimerkkinä toimii jäähdytysveden lämpötila. Lämmön noustessa ensimmäisen hälytysrajan yläpuolelle, antaa järjestelmä tästä käyttäjälle hälytyksen. Jos lämpötila nousee edelleen seuraavalle hälytysrajalle, moottorin automatiikka suorittaa niin kutsutun slow downin moottoria suojellakseen.

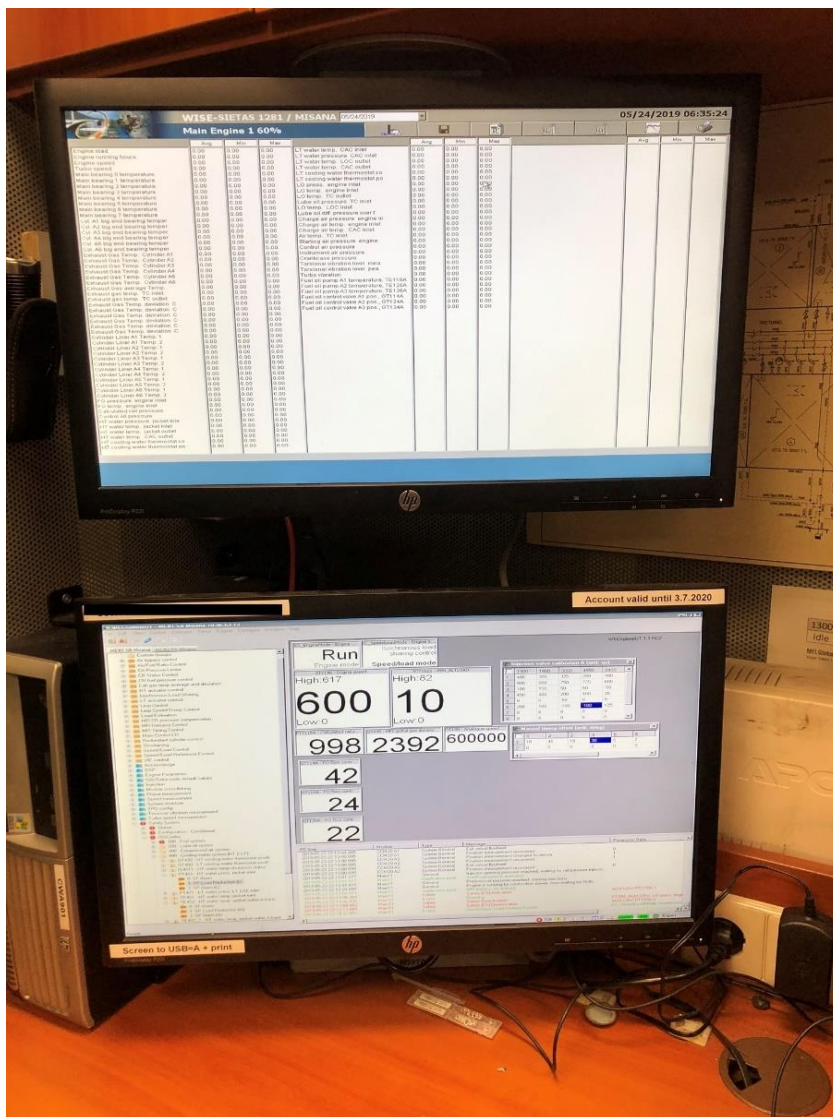
Suurissa merimootoreissa käynninvalvonta on kehittynyttä ja se on ohjelmoitavissa. Hälytysjärjestelmä ei rajoitu pelkästään itse moottorin hälytyksiin, vaan käsittää kaikki moottorin apulaitteistot kuten jäähdytyksen, voitelun, polttoaineen ja käynnistysilman.

### 8.3.1 Wärtsilä WECS

Wärtsilän moottorinohjausjärjestelmä eli WECS (Wärtsilä Engine Control System) on Wärtsilän kehittämä valvonta- ja säätöjärjestelmä, joka kattaa seuraavat asiat:

- Analogisten ja digitalisten signaalien mittaus, sensorit ja hälytykset
- Moottorin ja turboahtimen nopeudenmittaus
- Moottorin suojaus (shut down, automatic reduce)
- Kuorman säätäminen
- Tärkeiden parametrien luku
- Käynnistykseen estäminen
- Tiedon siirtäminen MODBUS-väylällä mittayksiköltä toiselle





Kuva 23. Wärtsilä WECSplorer eli Wärtsilän common rail -moottorin säätö- ja valvontajärjestelmä.

#### 8.4 Moottorin käynnistys

Moottori käynnistetään syöttämällä ilmaa moottorin sylintereihin. Käynnistysilma on solenoidikäyttöisen käynnistysilmaventtiilin takana, joka saadaan vetämään joko painamalla käynnistysnappia paikallisesti moottorin LDU:lta (local display unit), tai konevalvomossa sijaitsevasta kaukokäyttönapista. Vikatilanteissa venttiiliä on myös mahdollista operoida manuaalisesti. Käynnistysilman syöttäminen moottoriin on estetty sekä pneumaattisesti, että sähköisesti moottorin paaksauslaitteen ollessa kytkettynä. Myös polttoaineensyöttö on estetty. Paaksauslaitteen tai paaksin avulla moottoria voidaan pyörittää hitaasti, ilman polttoaineen syöttöä moottoriin. Tämä tulisi

tehdä aina ennen moottorin käynnistämistä, jotta sylintereissä mahdollisesti oleva vesi poistuu moottorista. Paaksaus tulee kyseeseen myös erinäisiä huoltotoimenpiteitä suoritettaessa, jolloin moottori saadaan pyöritettyä huollon kannalta tarvittavaan asentoon.



Kuva 24. Paaksauslaite.





Kuva 25. Käynnistysilmapullot.

7500kW Wärtsilä 46F common rail -moottorin valmisteleminen merimatkalle, kategorian III moottori KaMeWa-säätölapapotkurilla:

- Vaihdelaatikon öljypumppujen käynnistys, sekä AUX LT jäähdytysjärjestelmän pumpun käynnistys
- KaMeWa-pumpun käynnistys ja potkurin toiminnan testaus
- Moottorin öljytason tarkastaminen

- Moottorin paaksaus vähintään kaksi täyttä kierrosta, paaksilaitteen irtikytkeminen
- Moottorin puhaltaminen ja indikointihanojen sulkeminen
- Moottorin sähköisten HT ja LT standby-pumppujen käynnistäminen
- Riittävä ilmanvaihto konehuoneeseen varmistettava
- Moottorin käynnistys
- Tarkastuskierros
- Moottorin kytkin sisään
- Constant rpm eli vakiokierrosluku moottoriin (Wärtsilä common rail 600 rpm) ja tarvittaessa akseligeneraattorin tahdistaminen verkkoon
- Ohjailun luovuttaminen komentosillalle
- Monitorointi

### 8.5 Moottorin pysäytys

Aivan kuten käynnistyskin, myös sammutus tapahtuu joko paikallisesti moottorilta tai kauko-ohjattuna konevalvomosta. Moottoria ohjaava laitteisto pysyy käynnistyskäskyn alaisena niin kauan, että moottori on kokonaan pysähtynyt. Tämän jälkeen moottori palaa ”ready for start” -tilaan, jolloin moottori on uudelleen käynnistettävissä. Jos kyseessä on normaali pysäytys esimerkiksi satamaan tullessa, moottorin käyttäjä yleensä avaa moottorin indikointihanat ja kytkee paaksin.

### 8.6 Automaatio

Automaatio on varsin laaja käsite, mutta kiteytettynä voidaan sen ajatella olevan koneen suorittamia toimenpiteitä ilman ihmisen vuorovaikutusta. Automaatiota käytetään, kun ihmisen tarkkuus, toimintanopeus tai voimat eivät riitä. Automaatioon voidaan laskea kaikki mekaaniset, elektroniset ja sähköiset järjestelmät. Juuri automaation vuoksi konehuone voidaan jättää miehittämättä.

### 8.7 Valvonta

Valvonta tarkoittaa parametrien välityksellä moottorin toiminnan seuraamista. Luokituskäytökset asettavat vähimmäisvaatimukset valvottaville parametreille. Ne edellyttävät sellaisten parametrien valvomisen, jotka lyhyimmällä viiveellä kuvaavat

moottorin tilaa. Vaurioilla saattaa olla vakavia seurauksia. Aluksi hitaasti edennyt muutos käynnistää helposti nopeasti etenevän vaurioketjun.

Luokituslaitosten asettamien vaatimusten mukaan moottori- ja sylinterikohtaisesti valvotaan useita eri parametrejä. Säännökset eivät ole niin tiukkoja, jos konehuone on jatkuvasti miehitetty. Parametrien karsiminen ei ole kuitenkaan tässäkään tapauksessa suotavaa tai kannattavaa. Yksi tärkeimmistä valvottavista mittaussuureista on moottorin nopeus. Tämän lisäksi kyseeseen tulee lämpötila-, paine- ja virtausmittaukset. Mittauslaitteiden tarkkuus ja luotettavuus ovat tiukasti määriteltyjä. Mittalaitteissa laiterikkoja aiheuttaa useimmiten painepulssit ja jatkuva värinä.



Kuva 26. Sensorit, jotka mittaavat moottorin kierroslukua vauhtipyörästä.

## 8.8 Pyörimisnopeuden ja tehon säätö

Kierrosnopeuden ja tehon säätö ovat suoraan yhteydessä ruiskutetun polttoaineen määrään. Pyörimisnopeutta ohjataan säätimellä (governor), joka toimilaitteen (actor) välityksellä muuttaa ruiskutuspumppujen syötön määrää. Liikkeen välittää säätötanko, joka liikkuu joko pituussuunnassa tai kiertyvästi. V-moottoreiden tapauksessa tähän voi vielä liittyä varsin monimutkainen vivusto. Tankoon on kiinnitetty asteikko, jota käytetään moottorin kuorman ilmaisemiseksi. Moottorin kuorma ilmoitetaan asteikossa millimetreinä, eikä prosentteina kuten valvontatietokoneen ruudulla. Common rail -moottoreissa on elektroninen säätäjä.

## 9 DIESELMOOTTORIN HUOLTO JA KORJAUS

Käydessään moottorit kuluvat ja ne tarvitsevat säännöllistä huoltoa pysyäkseen hyvässä kunnossa. Moottorit meriympäristössä täytyy pitää erinomaisessa toimintakunnossa, sillä niitä operoidaan paljon ja suurilla kuormilla. Tämän päivän lyhyet satama-ajat hankaloittavat kuitenkin suurempien huoltojen suorittamista. Suurimmat huoltotyöt ajoitetaan niin, että ne osuisivat aluksen telakoinnin yhteyteen, jolloin yleensä tilataan ulkopuolinen toimija suorittamaan nämä huoltotoimenpiteet. Jatkuvasti yleistynyt tapa muutenkin on, että suuremmat huoltotyöt tilataan maista erilliseltä toimijalta. Tämä kuitenkin riippuu laivayhtiöstä ja on edelleen myös yleistä, että aluksen oma henkilökunta suorittaa itse suuretkin huoltotyöt. On tärkeää, että moottorinvalmistajalla on maailmanlaajuinen, kattava huoltoverkosto. Tämä takaa, että moottorin varaosia ja tarvittaessa juuri valmistajan moottoreihin perehtyneitä huoltosinöörejä on saatavilla vikatilanteiden varalle.

Hieman yleistäen voidaan sanoa, että on kolmenlaista huoltoa

Ennaltaehkäisevä huolto:

Ennaltaehkäisevä huolto on suunniteltua huoltoa, jonka tarkoitus on ennaltaehkäistä vikatilanteita ja rikkoutumisia. Useimmiten osat eivät ole kuluneita tai vikaantuneita, vaan ne vaihdetaan huoltoaikataulun mukaisesti.

Korjaava huolto:

Korjaava huolto on huoltoa, jossa vikaantunut tai rikkoutunut laite palautetaan toimintakuntoon

Kuntoon perustuva huolto:

Tämä huoltometodi perustuu moottorin kunnonseurantaan sekä anturipohjaiseen ja kokemusten perusteella saatuun tietoon. Moottoria huolletaan sen kunnon mukaan, ei ennaltaehkäisevästi ”varmuuden vuoksi”.

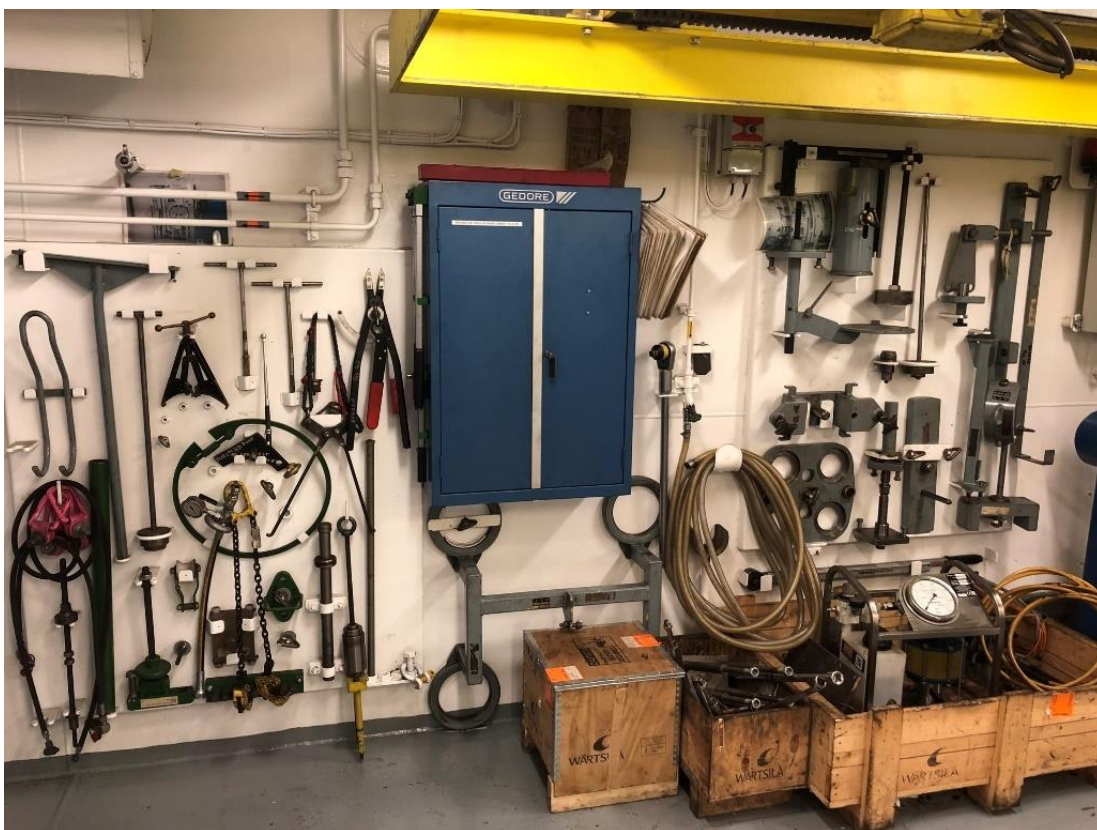
## 9.1 Ohjekirjat

Moottorin parissa työskentelevän tulisi lukea aina kyseisen moottorin ohjekirja, ymmärtääkseen moottorin huoltoon, operointiin ja asetuksiin liittyvät seikat. Valitettavan yleistä on, että ennen huoltoa ei perehdytä ohjekirjaan ja oikeisiin toimintatapoihin, vaan työ tehdään tunneperusteisesti. Tämä voi johtaa ongelmiin, sillä usein juuri pienimmät yksityiskohdat ovat ratkaisevia onnistuneen huoltotoimenpiteen kannalta.

On suositeltavaa noudattaa alla olevaa menettelytapaa:

- Tutustu ohjekirjaan ja piirustuksiin huolellisesti.
- Selvitä mitä erikoistyökaluja työ vaatii ja varmista, että ne löytyvät.
- Selvitä mikä on työkohteen huoltoväli ja se, että työ on ajankohtainen.
- Keskustele muiden osallistujien kanssa, suunnitelkaa ja jakakaa tietoa.
- Varmista, että työolosuhteet ovat puhtaat ja hyvin valaistut niiltä osin kuin mahdollista.
- Käytä hyväkuntoisia työkaluja ja vain hyväksytyjä nostovälineitä.
- Käytettäessä hydraulityökaluja, varmista että pumpussa on öljyä ja se on hyvälaatuista. Tarkista letkujen ja liitinten kunto.
- Moottoriin ei tulisi päästä likaa ja sinne ei missään nimessä tule jättää työkaluja, rättejä tai muuta vastaavaa.
- Järjestä kaikki puretut osat siististi ja suojaa ne.
- Laske kaikki painavat osat aina puun päälle, älä koskaan metallipinnoille.
- Käytä painavien osien nostamiseen nosturia aina kun tämä on mahdollista.
- Keskity työhön ja ole järjestelmällinen, älä kiirehdi.
- Ongelmatilanteissa konsultoi kollegoitasi ja kysy apua.
- Moderni teknologia mahdollistaa neuvojen pyytämisen myös valmistajalta.
- Kirjaa ylös tehdyt työt ja tallenna kaikki mittaustulokset.





Kuva 27. Wärtsilän 46CR -moottorin erikoistyökaluja.

## 9.2 Moottorin huolto

Vaikka laivalla henkilöstö on vähennetty minimiin ja satama-ajat ovat lyhyet, ei konehenkilöstön tulisi toimia pelkästään operaattoreina. Monet huollot tilataan maista ja ne suorittaa juuri kyseisen koneen asiantuntija. Tämä ei kuitenkaan poista sitä mahdollisuutta, että moottori rikkoutuu merimatalla. Erityisesti juuri tämän vuoksi konehenkilöstön tulee olla osaavaa ja ammattitaitoista, jotta alus saadaan kaikissa tilanteissa saatettua turvallisesti satamaan. Moottoreiden rakenteissa on pyritty huoltojen nopeuttamiseen ja asennus- sekä työvirheiden mahdollisuuksien minimointiin. Moottorin komponentit ovat monimutkaisempia valmistaa, mutta eri osien ja liitosten määrä on pienentynyt.



Kuva 28. Kampiakselin indikointi -huoltotoimenpide kategorian III moottorissa.

### 9.3 Hydraulityökalut

Monet kategorian II moottorit ja kaikki kategorioiden III ja IV moottorit tarvitsevat osien avaukseen ja kiristykseen hydraulityökaluja. Esimerkiksi sylinterikantta kiinnittäessä kierretään mutterit aluksi kiinni sylinterikannen pultteihin. Ne kiristetään käsin vääntämällä mutterissa olevista rei'istä pienellä yksinkertaisella tangolla, suuria voimia tai raskaita työkaluja ei tarvita. Pultteihin asetetaan hydraulityökalu, jonka jälkeen tunkilla luodaan paine. Muodostunut paine venyttää pultteja niiden normaalin elastisuuden rajoissa, jonka jälkeen mutterit kiristetään uudelleen käsin suurta voi-

maa käyttämättä. Paine vapautetaan hitaasti ja mutterit jäävät tiukasti kiinni. Hydraulinen kiristys/avaus tulee kyseeseen myös esimerkiksi seuraavien komponenttien kohdalla:

- sylinterikannen pultit
- kiertokangen pultit
- raamilaakereiden pultit
- kampiakselin vastapainojen pultit
- petipultit
- nokka-akselien nokat

Näiden lisäksi kaksitahtimoottoreissa myös ristikappale ja männän varsi kiristetään hydraulisesti.



Kuva 29. Hydraulityökalu Wärtsilän sylinterikannen mutterien kiinnitykseen ja aukaisuun.



#### 9.4 Kategorian I moottorin huoltotoimenpiteitä

- Venttiilinvälysten tarkastus
- Polttoaine-, voiteluaine- ja jäähdytysvesijärjestelmien tarkastaminen ja suodatinten vaihto
- Käynnistysilmajärjestelmän, mukaan lukien starttimoottori ja akku, tarkastaminen
- Hihnojen kireyden tarkastaminen
- Ruiskutus-suuttimien vaihto
- Sylinterikansien kunnostaminen
  - mittaaminen
  - venttiilien ja venttiiliohjureiden vaihto
  - seetien koneistus
- Ruiskutus-suutinten huolto
  - kärjen puhdistus tai vaihto
  - avautumispaineen tarkistus ja säätö
  - ruiskutuskuvion tarkastus
- Sylinteriputken hoonaus
  - hoonauksella sylinteriputken käytössä kiillottunut sisäpinta saadaan taas oikeaan ”karheuteensa”
- Männän kunnostus ja puhdistus
  - männänrenkaiden uusiminen
  - männän kruunun puhdistus
  - mittaukset

#### 9.5 Luotettavuus

Tänä päivänä moottoreiden luotettavuuden tärkeys on korostunut, mutta on kuitenkin mahdotonta sulkea häiriötilanteita kokonaan pois. Useimmat käyttöhäiriöt eivät johda onnettomuuksiin eivätkä näin ole kohtalokkaita. Tämän vuoksi laivamoottoreiden luotettavuutta ei ole taloudellisesti kannattavaa parantaa esimerkiksi lentoliikenteen tasolle, jossa riskit ovat valtavasti suurempia ja häiriöt ovat lähes poikkeuksetta kohtalokkaita. Laivamoottorit suunnitellaan niin luotettaviksi kuin mahdollista, ja niille luodaan luotettavuusanalyysi. Tässä analyysissä on eroteltu järjestelmän täysi toimimattomuus ja kyky osateholla toimimiseen. Moottorilta vaadittava teho vaihtelee, osateho saattaa usein täyttää tehontarpeen monissa tilanteissa. Moottorin luotettavuuden mittana onkin sen käytettävyys, joka on tehollisen käyttöajan ja odotetun käyttöajan suhde. Käyttöajasta on vähennetty määräaikaishuoltoaika.

Luotettavuusanalyysissa on moottoreille käytetty seuraavanlaisia vikaantumisvälejä laivojen propulsiovoiman lähteenä:

- hidaskäyntinen dieselmoottori: raskaalla polttoöljyllä 4000h
- keskinopea dieselmoottori: raskaalla polttoöljyllä 3500h ja dieselöljyllä 8000h
- nopeakäyntinen dieselmoottori: dieselöljyllä 2500h

Eri moottoreilla on varsinkin moottorityypin elinkaaren alkupäässä omat tyyppivikansa, joita valmistaja pyrkii korjaamaan käyttökokemusten perusteella. Moottoreiden vikaantumiseen vaikuttaa kuitenkin monet muutkin tekijät:

- Polttoaineen puhtaus ja sen laatu
- Moottorin kuormitusaste ja kuormanvaihtelut
- Huoltojen suorittaminen ajallaan ja oikein
- Apujärjestelmien optimaalinen toiminta
- Puhtaus
- Voiteluöljyn puhtaus ja sen laatu
- Moottorin esilämmitys ja -voitelu
- Kiinnitys alustaan

## LÄHTEET

Bollfilterin www-sivut. 2019. Viitattu 5.5.2019. <https://www.bollfilter.com/>

Häkkinen, P. 1993. Laivan koneistot. Espoo: Helsinki: University of Technology

Häkkinen, P. 1997. Laivan kuljetuskoneisto. Otaniemi: Helsinki: University of Technology

MAN Energy Solutionsin www-sivut. 2019. Viitattu 7.5.2019. <https://marine.man-es.com/>

Kuiken, K. 2017. Diesel Engines for ship propulsion and powerplants from 0 to 100,000 kW Book I Principles. Onnen: Target Global Energy Training

Kuiken, K. 2017. Diesel Engines for ship propulsion and powerplants from 0 to 100,000 kW Book II Engine systems and environment. Onnen: Target Global Energy Training

Kuiken, K. 2017. Diesel Engines for ship propulsion and powerplants from 0 to 100,000 kW Book III Operation and maintenance. Onnen: Target Global Energy Training

Kuiken, K. 2017. Gas and dual-dual engines for ship propulsion, powerplants and co-generation from 0 to 100,000 kW Book I Theoretical principles. Onnen: Target Global Energy Training

Kuiken, K. 2017. Gas and dual-dual engines for ship propulsion, powerplants and co-generation from 0 to 100,000 kW Book II Engine systems and environment. Onnen: Target Global Energy Training

Kuiken, K. 2017. Gas and dual-dual engines for ship propulsion, powerplants and co-generation from 0 to 100,000 kW Book III Operation and maintenance. Onnen: Target Global Energy Training

Tieteen Kuvalehden www-sivut. 2019. Viitattu 1.5.2019. <https://www.tieku.fi>

Toesbvn www-sivut. 2019. Viitattu 29.5.2019. <https://www.toesbv.eu/>

ShipInsightin www-sivut. 2019. Viitattu 25.4.2019. <https://www.shipinsight.com>

Wärtsilän www-sivut. 2019. Viitattu 13.5.2019. <https://www.wartsila.com>

## LIITE 2

1. Mitkä seikat vaikuttavat siihen, valitaanko uudisrakennukseen kaksi- vai nelitahtimoottori?
2. Millä kierrosluvuilla nopea-, keskinopea ja hidaskäyntiset dieselmoottorit operoivat?
3. Selitä nelitahtimoottorin eri tahdit ja mitä niiden aikana tapahtuu.
4. Mitä tarkoittaa vapaasti hengittävä ja turboahdettu moottori? Mitä etuja turboahdimmella saavutetaan?
5. Miksi ahtoilmaa jäähdytetään?
6. Mitkä ovat kaksitahtisen ristipäämoottorin eri voitelujärjestelmät, miten ne toimivat ja mikä niiden tarkoitus on?
7. Mitä on raskas polttoöljy ja miten se määritellään?
8. Selitä seuraavat termit:
  - Settling tankki
  - Polttoainetankin dreinaus
  - Viskometri
9. Mikä on automaattisuodatin ja miten se toimii?
10. Miksi dieselmoottoreita jäähdytetään?
11. Mitä jäähdytysaineita dieselmoottorissa voidaan käyttää?
12. Luettele ja kuvaile voiteluöljyn tärkeimmät tehtävät dieselmoottorissa.
13. Mitkä moottorin osat tarvitsevat voitelua?

14. Miten dieselmoottori käynnistetään?

15. Miksi on erityisen tärkeää, että konemestarina osaat huoltaa oman aluksesi moottorin, vaikka työtehtäväsi pääasiallisesti koostuisikin vain vahdinpitotöistä?