



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Mika Raatikainen

WÄRTSILÄ 31 -MOOTTORIIN
SULAUTETTU UNIC-
AUTOMAATIOJÄRJESTELMÄ

Suorituskyvyn optimointi ja vianetsintä

Tekniikka
2019

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Mika Raatikainen
Opinnäytetyön nimi	Wärtsilä 31 -moottoriin sulautettu UNIC- automaatiojärjestelmä
Vuosi	2019
Kieli	suomi
Sivumäärä	57 + 2 liitettä
Ohjaaja	Jukka Hautala

Opinnäytetyö käsittelee Wärtsilä 31 -moottoria ja toisen sukupolven UNIC-moottorin automaatiojärjestelmää. Moottorin automaatiojärjestelmä on kehittynyt anturien määrän kasvaessa ja moottorin toimintojen sekä ohjelmiston älykkyyden lisääntyessä haastavaksi ohjata ja käyttää. Tutkimukselle nähtiin tarve, koska koeajo-osastojen sähköasentajat ovat kohdanneet haasteita Wärtsilä 31 -moottoreita koeajaessaan. Wärtsilä 31 -moottoria koeajavat sähköasentajat tarvitsevat syvällisempää asiantuntemusta moottorin ohjelmistosta voidakseen optimoida moottorin optimaaliseen suorituskyykyyn sekä löytääkseen nopeammin mahdollisia vikoja.

Tutkimuksen aikana oltiin Wärtsilä 31 -moottoreiden koeajotapahtumissa sekä luokitusajotapahtumissa, joista kerättiin tietoa ja kokemusta moottorin ohjelmistosta ja parametreista sekä niiden vaikutuksesta moottorin toimintoihin. Koeajotapahtumissa oli mukana monia moottoriasiantuntijoita, joiden kanssa tehtiin yhteistyötä.

Tutkimuksen aikana käydyistä koeajotapahtumista selkiytyi moottorin ohjelmiston käyttämisen haasteellisuus. Selkiytyi myös, että työohjeen rakentamiseen tarvitaan huomattavasti enemmän aikaa ja syvällistä perehtymistä Wärtsilä 31 -moottorin ohjelmistoon. Tästä johtuen päädyttiin johtopäätökseen, että tutkimustyö keskittyy Wärtsilä 31 -moottorin sekä toisen sukupolven UNIC-automaatiojärjestelmän perustoimintoihin. Työohje tehdään jatkokehitystyönä tämän tutkimustyön jälkeen. Tässä opinnäytetyössä erilaiset asiakokonaisuudet liittyvät toisiinsa alusta loppuun muodostaen laajan käsityksen markkinatrendeistä moottorin ohjelmistoon. Tutkimustyön kirjoittaminen opetti paljon perusasioista koskien Wärtsilä 31 -moottoria ja toisen sukupolven UNIC-automaatiojärjestelmää sekä miten ohjelmiston parametrit ovat suuressa roolissa laajassa kokonaisuudessa.

ABSTRACT

Author	Mika Raatikainen
Title	An Engine Embedded UNIC Automation System for Wärtsilä 31
Year	2019
Language	Finnish
Pages	57 + 2 Appendices
Name of Supervisor	Jukka Hautala

The thesis deals with the Wärtsilä 31 engine and the second-generation UNIC engine automation system. As the number of sensors and engine functions increases and the software becomes more intelligent the engine automation system has become more challenging to control and operate. There was a need for the research because the electricians of the test run unit have encountered challenges when testing the Wärtsilä 31 engines in the test run. The electricians of the test run need deeper knowledge of the Wärtsilä 31 engine software in order to optimize engine performance and to find the faults faster.

During the research, information and experience from engine software and parameters and their effects on engine operation was gathered from Wärtsilä 31 engines test run and classification tests. There were many engineers and engine experts with whom cooperation was made in engine tests.

During the research, the challenges of using the engine software became clearer from the test run events. It also became very clear that much more time and in-depth knowledge of Wärtsilä 31 engine software is needed to build a working instruction for optimization of software parameters. As a result of the research, it was concluded that the research will focus on the basic functions of the Wärtsilä 31 engine and the second-generation UNIC automation system. The work instructions will be done as a further process after this research. The different topics are connected to each other in the research and form a wide understanding of the market trends to the engine software. The writing of the thesis taught a lot about the basics of the Wärtsilä 31 engine and the second-generation UNIC automation system, and the significance of the parameters of the software in a large entity.

Keywords Engine, automation system, software and optimizing

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO	10
1.1	Tavoite.....	11
2	WÄRTSILÄ OYJ ABP.....	12
2.1	Wärtsilä Energy – liiketoiminta	13
2.2	Wärtsilä Marine – liiketoiminta	13
2.3	Markkinatrendit.....	13
2.4	Strategia	14
2.4.1	Kestävä kehitys.....	15
2.4.2	Smart Energy	16
2.4.3	Smart Marine	17
3	DCV-MOOTTORITEHTAAN KOEAJO	19
3.1	Unic-moottoriautomaatiojärjestelmä.....	23
3.2	PLC-logiikka.....	25
3.3	Valvomo-ohjelmisto WOIS	26
4	WÄRTSILÄ 31 -MOOTTORI.....	28
4.1	Moottorisovellukset.....	30
4.2	Polttoainetehokkuus	30
4.3	Polttoaineen ruiskutusjärjestelmä	31
4.4	Kaksivaiheinen turboahdinjärjestelmä	31
4.5	Säädettävä venttiilitoiminto	32
4.6	Ympäristöjalanjälki	32
4.7	Luotettavuus ja huolto	34
4.8	Modulaarinen rakenne	35
5	WÄRTSILÄ 31 JA TOISEN SUKUPOLVEN UNIC- AUTOMAATIOJÄRJESTELMÄ	36
5.1	UNIC-järjestelmän historia.....	36
5.2	Wärtsilä 31 UNIC-järjestelmä	37

5.3	Modulaarisuus.....	38
5.4	Polttoaineen ja toiminnan joustavuus.....	39
5.5	Käytettävyyden hallinta.....	40
5.6	Lämpötila ja vikatilanteiden simulointi.....	42
5.7	Automaatiokomponenttien validointi.....	42
5.8	Automaation sähkömekaaninen suunnittelu	43
5.9	Elektroninen moduulikotelo	44
5.10	Paikallinen näyttöyksikkö LDU-30.....	45
5.11	Diagnostiikka	47
5.12	Moottorin suorituskyvyn varmistaminen	47
5.13	Muuttuvat säädöt.....	48
5.14	Palamisen ohjaus.....	50
5.15	Verkkokoodi	51
5.16	Digitalisaatio	52
5.17	Integraatio	52
5.18	Horisontaalinen integraatio.....	53
5.19	Vertikaalinen integraatio	54
6	TULOKSET	55
7	JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA	56
	LÄHTEET	57

LIITTEET

KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuva 1. Wärtsilän liikevaihto globaalisti alueittain. /1/	12
Kuva 2. Maailman energiatrendit 2019. /2/	16
Kuva 3. Tulevaisuuden älykästä merenkulkua. /1/	17
Kuva 4. Ohjauslaite aluksen komentosillalla. /1/.....	18
Kuva 5. UNIC-moottoriautomaatiojärjestelmän seuranta valvomossa. /4/.....	20
Kuva 6. ABB:n generaattori. /5/	21
Kuva 7. Wärtsilä 34DF -moottori yhdistettynä generaattoriin. /6/	21
Kuva 8. Periaatekuva kolmivaiheisen taajuusmuuttajan piirikaaviosta (kuva muokattu). /7/	22
Kuva 9. Esimerkkipiirros vastuskattilasta, jossa vedessä sijaitsevat vastukset lämmittävät kattilassa olevaa vettä (kuva muokattu). /8/.....	22
Kuva 10. Moottori ajossa. /4/.....	23
Kuva 11. UNIC-järjestelmän kokoonpanokaavio. /4/	25
Kuva 12. Esimerkki PLC-järjestelmän toimintakaaviosta. /10/	26
Kuva 13. Päänäkymä Indusoft-ohjelmasta. /13/	27
Kuva 14. Tiedonkeruun periaatekaavio Indusoft. /14/	27
Kuva 15. Wärtsilä 31 -moottori. /15/	28
Kuva 16. Polttoaineen joustavuus ja modulaarinen rakenne. /15/	29
Kuva 17. Kaavio kolmen Tierin päästöstandardeista. /31/.....	33
Kuva 18. Tekninen kaavio NOR-järjestelmästä. /18/	34
Kuva 19. UNIC-järjestelmän moduulien yleiskatsaus. /21/	38
Kuva 20. UNIC-järjestelmän yleiskatsaus. /19/.....	38
Kuva 21. Toisen sukupolven UNIC-järjestelmä Wärtsilä 31 -moottorissa. /19/..	39
Kuva 22. Moottorinohjausjärjestelmien integrointikaavio. /19/	41
Kuva 23. Komponenttien nopeutettuun elinkaaritestiin käytettävä laite. /19/.....	43
Kuva 24. WTB-20 moduulikotelo. /19/.....	45
Kuva 25. LDU-30-näyttöyksikkö. /19/.....	46
Kuva 26. Suljetun silmukan ohjausjärjestelmän toimintaperiaatekaavio. /19/	49
Kuva 27. Etusyötön syötönohjaus suljetun silmukan ohjaimelle. /19/	50
Kuva 28. Tehonsäädin, jossa taajuuskorjauksen ohjaus. /19/.....	52

LYHENNELUETTELO

GW	Gigawatt
MW	Megawatt
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development
DCV	Delivery Centre Vaasa
HFO	Heavy fuel oil
LFO	Light fuel oil
DF	Dual fuel
LNG	Liquefied natural gas
SG	Spark-ignited Gas
UNIC	Unified Control
WOIS	Wärtsilä Operator Interface System
PLC	Programmable Logic Controller
FAT	Factory Acceptance Test
IOM	Input-Output Module
CCM	Cylinder Control Module
ESM	Engine Safety Module
MCM	Main Control Module
PDM	Power Distribution Module
LDU	Local Display Unit
CAN	Controller Area Network
TCP	Transmission Control Protocol
PC	Personal Computer
I/O	Input/Output
RPM	Rotations per minute
SCR	Selective Catalytic Reduction

IMO	International Maritime Organization
EPA	United States Environmental Protecting Agency
NOR	Wärtsilä NO _x Reducer
NO _x	Nitrogen oxides
CO ₂	Carbon dioxide
THC	Total hydrocarbons
WECS	Wärtsilä Engine Control System
WMAP	Wärtsilä Modular Application Platform
HALT	Higly Accelerated Life Test
FPGA	Field-programmable gate array
IMEP	Indicated Mean Effective Pressure
HR	Heat Release
Modbus	Serial communications protocol
OPC	Open Platform Communications

LIITELUETTELO**LIITE 1.** Vianetsintää (salainen)**LIITE 2.** Optimointiohje (salainen)

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö tehtiin Wärtsilän Vaasan tehtaan (DCV) koeajo-osaston tarpeisiin. Pääkohderyhmänä koeajo-osastoilla työskentelevät sähköasentajat. Moottoreiden kehittyessä niiden sisältämä moottoriautomaatiojärjestelmä on kehittynyt anturien määrän kasvaessa ja ohjelmiston älykkyyden lisääntyessä hallitsevaksi moottoreiden ohjausjärjestelmäksi. Moottoreilta vaaditaan jatkuvasti entistä korkeampaa suorituskykyä ja ne toimivat hyvin erilaisissa käyttöympäristöissä. Tämän vuoksi jokainen moottori on optimoitava huolellisesti, jotta sen suorituskyky vastaa optimaalisesti asiakkaan toimintatarpeisiin.

Moottorin optimaalisen suorituskyvyn saavuttamiseksi on moottorin automaatiojärjestelmän toimittava sulavasti yhdessä sekä moottorin mekaanisen järjestelmän, että moottorin hydraulisen järjestelmän kanssa kokonaisuutena. Lisäksi laajempaan kokonaisuuteen liittyy asiakkaan käyttötarkoituksesta riippuen yleensä joko aluksen voimantuotanto-, energiantuotanto sekä ohjausjärjestelmät tai voimalaitoksen sisältämät erilaiset järjestelmät sekä paikallinen sähköverkko.

Opinnäytetyön aiheena on Wärtsilä 31 -moottorin ohjelmiston parametrien optimointi sekä vianetsintä moottorin suorituskyvyn optimoimiseksi. Aiheesta on tarkoitus tehdä Wärtsilän koeajo-osastoilla työskentelevien sähköasentajien käyttöön työohje. Kyseisenlaista työohjetta ei ole aiemmin moottoreille tehty. Moottorin automaatiojärjestelmän anturien määrän kasvaessa ja ohjelmiston älykkyyden lisääntyessä on automaatiojärjestelmän ohjauksesta sekä hallinnasta tullut entistä haastavampaa ja monimutkaisempaa. Tämän vuoksi ohjelmiston parametreihin keskittyvälle työohjeelle nähdään erityinen tarve.

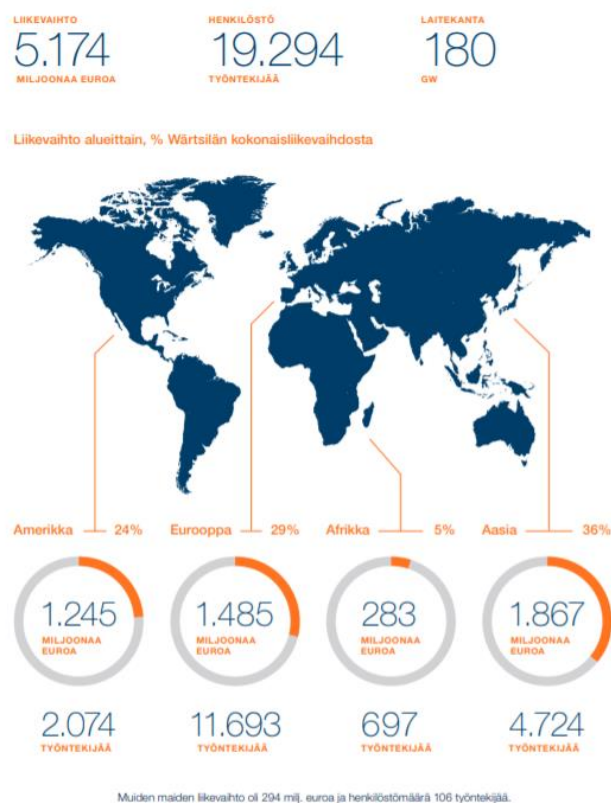
Opinnäytetyö keskittyy Wärtsilä 31 -moottoriin sekä moottoriin sulautettuun toisen sukupolven UNIC-automaatiojärjestelmään. Lisäksi työn alussa syvennyttään hieman Wärtsilän liiketoimintaan, markkinatrendeihin sekä strategiaan kestäväen kehityksen, energiamarkkinoiden ja merenkulkualan osalta. Näistä huomataan laajemman kokonaisuuden merkitys suhteessa moottorin ohjelmistoon.

1.1 Tavoite

Työn tarkoituksena on kertoa Wärtsilä 31 -moottoriin sulautetusta toisen sukupolven UNIC-automaatiojärjestelmästä sekä tutkia UNIC-automaatiojärjestelmän ohjelmiston parametrien optimointia ja vianetsintää Wärtsilä 31 -moottorissa. Lisäksi tarkoituksena on tehdä työohje Wärtsilä 31 -moottorin suorituskyvyn optimoinnista ja vianetsinnästä. Työohjeen tekeminen aloitetaan tämän opinnäytetyön taustalla ja jatkuu sen valmistuttua. Työohjeelle on tarve, koska moottorin automaatiojärjestelmä sekä sen ohjelmisto ovat uusia ja ohjelmistoa on haastava käyttää koeajettaessa moottoreita. Tällä hetkellä kyseistä moottorityyppiä koeajavat henkilöt kohtaavat haasteita ohjelmiston käyttämisessä sekä vikatilanteiden selvittämisessä ja tarvitsevat usein koeajotilanteissa moottorin ohjelmiston asiantuntijoiden tukea.

2 WÄRTSILÄ OYJ ABP

Wärtsilä on perustamisestaan vuodesta 1834 lähtien toiminut teknisten innovaatioiden etulinjassa jo 180 vuoden ajan. Älykkään teknologian ja kokonaislinkaariratkaisujen toimittajana Wärtsilä on nykyään globaali johtaja merenkulku- ja energiamarkkinoilla. Kestäviin innovaatioihin, tietojen analysointiin ja kokonaisyötyosuhteeseen keskittyen Wärtsilä kykenee maksimoimaan ympäristötehokkuuden ja taloudellisuuden asiakkaidensa aluksissa sekä voimalaitoksissa. Wärtsilän toimittama laitekanta on 180 Gigawattia ympäri maailman. Wärtsilällä on maailmanlaajuisesti yli 80 maassa yli 200 toimipistettä, joissa työskentelee noin 19.000 henkilöä. Wärtsilän liikevaihto vuonna 2018 oli 5,2 miljardia euroa (Kuva 1). Liiketoiminta-alueet jakautuvat Wärtsilä Energy- ja Wärtsilä Marine -liiketoiminta-alueisiin. /1/



Kuva 1. Wärtsilän liikevaihto globaalisti alueittain. /1/

2.1 Wärtsilä Energy – liiketoiminta

Wärtsilä Energy integroi energiajärjestelmiä suunnittelemalla sekä rakentamalla joustavia ja luotettavia voimantuotantojärjestelmiä. Näillä optimaalisilla energiajärjestelmillä mahdollistetaan johtava muutos tulevaisuuteen kohti sataprosenttisesti uusiutuvien energianlähteiden käyttöä sekä samanaikaisesti voimantuotantojärjestelmien luotettavuus. Wärtsilän energiajärjestelmiin lukeutuvat joustavat erilaisilla polttoaineilla toimivat moottorikäyttöiset voimalaitokset, hybridaurinkovoimalat ja energianhallintajärjestelmät sekä ratkaisut energian varastointiin ja integrointiin. Wärtsilä tarjoaa palveluja, joilla varmistetaan asiakkaiden laitosten jatkuva tehokkuuden parantaminen sekä suorituskyvyn varmuus koko elinkaaren ajan. /1/

2.2 Wärtsilä Marine – liiketoiminta

Wärtsilä Marine tarjoaa meriteollisuudelle sekä öljy- ja kaasuteollisuudelle johtavan valikoiman edistyksellisesti kehittyneitä teknologisia ratkaisuja, jotka ovat myös järkeviä taloudellisesti sekä kestäviä ympäristön kannalta. Tiedonsiirtoa ja digitaalisuutta hyödyntäen kaikissa merenkulku- ja satamatoiminnoissa sekä logistiikkaketjussa on Wärtsilä luomassa lisäarvoa asiakkailleen sekä yhteistyökumppaneilleen ja johtamassa merenkulun kehitystä kohti älykästä ekosysteemiä. Wärtsilä kykenee varmistamaan aluksille turvalliset, ekologiset ja tehokkaat käyttöprofiilit sekä optimoimaan niiden suorituskyvyn. Tämän mahdollistaa integroitu tuotevalikoima, sisältäen kattavat sekä markkinoiden laajimman palveluverkoston elinkaaripalvelut. /1/

2.3 Markkinatrendit

Sähkön kulutus lisääntyy OECD:n ulkopuolisissa maissa talouskasvun ja elintason kohoamisen myötä. Samanaikaisesti vanhenevaa energiantuotantokapasiteettia suljetaan sekä hiili-intensiivisiä energialähteitä korvataan ympäristöystävällisemmällä polttoaineilla kiristyvien päästömääräysten myötä. Ilmastopolitiikka, energian saatavuus sekä taloudelliset tekijät toimivat vaikuttavasti energiainfrastruktuurin kestävämmän kehityksen taustalla.

Perinteisen lämpövoimakapasiteetin käyntiajat vähenevät luoden samalla markkinoille suuren kysynnän joustavuudelle voimantuotantojärjestelmissä kapasiteetin joustavuuden ja erilaisten energiavarastojen tarpeiden muodossa. Kaasusta onkin nousemassa merkittävä hiilineutraali polttoaine joustavissa energiantuotantojärjestelmissä. Laitoskannan optimointiin sekä järjestelmätason integrointiin syntyy uusia mahdollisuuksia data- ja alustalähtöisillä liiketoimintamalleilla.

Maailmantalouden kehityksen vaikutus kauppaan sekä kuljetuskapasiteetin tarpeeseen ohjaa uusien alusten kysyntää. Tällä talouskehityksellä on vaikutuksensa myös polttoaineiden hintoihin, saatavuuteen sekä kysyntään, jotka taas ohjaavat kehitystä öljy- ja kaasuteollisuudessa. Polttoainekustannusten ollessa korkeat, kasvaa tarve laitepäivityksille, uusille käyttöprofiileille sekä tehokkaammille alusmalleille. Kaasun hyödyntäminen merenkulun polttoaineena, alusten tehokkuusoptimointi ja uusien ympäristöratkaisujen tarve kasvaa ympäristömääräysten tiukentuessa. Näin ollen merenkulkualalla uuden teknologisen kehityksen ja innovaatioiden tuomin edellytyksin on sovellettava modernien kalusto-, järjestelmä- ja operointiratkaisujen käyttöä voidakseen toimia tehokkaammin, kestävämmiin sekä turvallisemmin. /1/

2.4 Strategia

Wärtsilän päämääränä on kehittää kestävää yhteiskuntaa älykkäällä teknologialla.

Asiakkaiden päätöksiä ohjaavat enenemissä määrin puhtaan ja joustavan energian saatavuus sekä tehokkuus ja turvallisuus kuljetusjärjestelmissä. Näistä koostuu kiinn perusta Wärtsilän Smart Marine ja Smart Energy -visioille. Asiakkaiden tarpeisiin koskien energiatehokkaita ja innovatiivisia ratkaisuja, Wärtsilä vastaa tarjoamalla koko elinkaaren kattavan integroidun palvelu-, järjestelmä- ja tuotevalikoiman. Digitaalisuuden myötä syntyy jatkuvasti uusia innovatiivisia ratkaisuja ja toimintatapoja, jotka tuovat lisäarvoa ja uudenlaista yhteistyötä niin asiakkaille, Wärtsilälle, yhteistyökumppaneille kuin koko alan laajalle verkostolle. Esimerkiksi data-analytiikkaa ja tekoälyä hyödyntäen Wärtsilä kykenee optimoimaan laitteiden ja alusten tuottavuutta jatkuvasti kehittyneemmäksi. Lisäksi Wärtsilä omaa vahvan

aseman keskeisillä markkinoilla ja globaalien huoltoverkoston, joten se toimii markkinalähtöisesti alan maailmanlaajuisen kehityksen keskipisteessä. /1/

2.4.1 Kestävä kehitys

Taloudellinen vastuu luo lähtökohdan ympäristövastuulle sekä sosiaaliselle vastuulle. Osakkeenomistajien odotuksien täyttäminen ja yhteiskunnan hyvinvoinnin edistäminen, jotka kuuluvat Wärtsilän tavoitteisiin, edellyttävät yhtiöltä tehokasta, kannattavaa sekä kilpailukykyistä toimintaa.

Ympäristövastuu tuo korkeat ympäristönormit, joiden saavuttamiseksi Wärtsilä aktiivisesti osallistuu ekosysteemeihin ja panostaa jatkuvasti tuotekehityksen, yhteistyön sekä kumppanuuksien voimin kehittämällä tehokkaampia ja ympäristösuorituskykyisempiä tuotteita sekä ratkaisuja. Ilmastonmuutoksen hillintään ja merien suojeluun Wärtsilä toimittaa älykästä teknologiaa ja palveluita. Näiden johdolla Wärtsilä kulkee kohti tavoitetta toimiakseen kestävästi innovaation edelläkävijänä sekä auttaakseen asiakkaitaan ja koko ympäröivää yhteiskuntaa päästöjen vähentämisessä.

Sosiaalinen vastuu on Wärtsilälle työnantajana vastuullisuutta tarjoava, mielenkiintoinen ja turvallinen ympäristö sekä olosuhteet työnteolle, jossa vallitsevat avoimuus, toisten kunnioitus, luottamus, tasa-arvo sekä mahdollisuudet henkilökohtaiseen kehittymiseen. Wärtsilän päämääränä on minimoida terveys- ja turvallisuusriskit koskien tuotteitaan ja palveluitaan. Wärtsilän sosiaaliseen vastuuseen sisältyy korkeat eettiset standardit sekä välittäminen toimimissaan yhteisöissä. Yhtiön koko liiketoiminta ja kaikki sidosryhmäsuhteet perustuvat näihin toimintaperiaatteisiin ja Wärtsilän tavoitteena on tehokkaan toimitusketjun hallinnan sekä jatkuvan kehittämisen avulla varmistaa näiden arvojen noudattaminen läpi koko arvoketjun. /1/

2.4.2 Smart Energy



Kuva 2. Maailman energiatrendit 2019. /2/

Energiemarkkinat ovat kehityksessä kohti tulevaisuutta, jossa energian perusvoimantuotanto tuotetaan uusiutuvilla energianlähteillä, varastoidaan ja käytetään täsmällisesti tarpeen mukaan (Kuva 2). Tämä tulevaisuus vaatii energiajärjestelmiltä luotettavuutta, joustavuutta ja kehittyneitä energian varastointimuotoja sekä älyverkkoja, jotka mahdollistavat energian käyttäjien toimimisen myös energiantuottajina.

Wärtsilä on kehittänyt jo tähän energiemarkkinoiden murrosvaiheeseen optimaalisia ratkaisuja, joilla mahdollistetaan uusiutuvien energialähteiden käyttäminen perusvoimantuotantona joustavasti ja luotettavasti. Energiasektorin murroksessa Wärtsilän tarjoamat moottorivoimalaratkaisut tuovat erityislaatuisen kokonaisuuden energiatehokkuuden, polttoainejoustavuuden sekä joustavan käytön kannalta. Asiakkaiden voimantuotantojärjestelmät ja laitokset sisältävät monenlaista teknologiaa, joita kehitetään ohjelmistojen, kokonaistoimitusten sekä maailmanlaajuisen huoltoverkoston avulla. Tulevaisuuden kestäviin ja luotettaviin energiajärjestelmiin Wärtsilä on energiajärjestelmien ytimessä toimiessaan kehittänyt kaikki erilaisiin kokonaisuuksiin tarvittavat teknologiat, palvelut sekä ratkaisut. Uusiutuvien energialähteiden hyödyntäminen vaatii älykästä ja kehittyntä teknologiaa, jotta energiantuotannon sekunti- ja vuorokausitason vaihteluista voidaan luotettavasti huolehtia.

Wärtsilän tarjoamat energian varastointi- ja integrointiratkaisut sekä laitos- ja elinkaarihallinnan palvelut optimoivat asiakkaiden laitoksia suorituskyvyn päivityksillä, modernisoinneilla, polttoainekonversioilla sekä turvallisuusratkaisuilla. Hallinnoimalla laitoksia voidaan niiden suorituskykyä optimoida ja energiantuotannon luotettavuutta parantaa. Laitosten koko elinkaaren aikaista suorituskykyä optimoidaan verkottumalla sekä keräämällä strategisesti merkittävää tietosisältöä, jota analysoimalla voidaan tuottaa hyödyllistä tietoa, jonka avulla asiakkaat voivat kehittää liiketoimintaansa älykkäällä teknologialla. Elinkaariratkaisujen tarve kasvaa tulevaisuudessa, joka vaatii laitoksien hallintaa sekä tuo samalla kysynnän uusille ”as-a-service” eli palveluliiketoiminnoille. Wärtsilä Energy:n strategia painottuu optimoimaan nykyistä liiketoimintaa sekä luomaan vahvaa pohjaa kehittämällä tulevaisuuden liiketoimintamalleja. /1/

2.4.3 Smart Marine



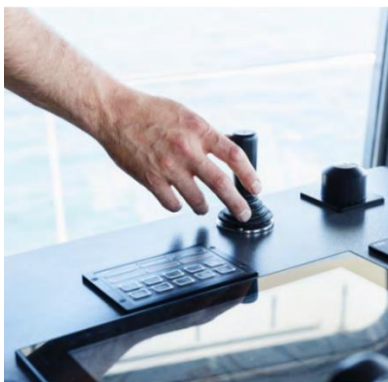
Kuva 3. Tulevaisuuden älykästä merenkulkua. /1/

Merenkulkuala on matkalla kohti uutta aikakautta, jonka toimintaa tehostaen, ilmastovaikutuksia pienentäen ja turvallisuutta parantaen Wärtsilä älykkään teknologian sekä suorituskykyä optimoivien palvelujen voimin tähtää kehittämään (Kuva 3). Wärtsilä omaa vahvan aseman meri-, öljy- ja kaasuteollisuuden johtavana tuoteinnovaatioiden, integroitujen ratkaisujen sekä elinkaari palveluiden toimittajana. Digitalisaatiota ja älyteknologiaa sekä tietoverkkoja hyödyntäen

Wärtsilä tähtää luomaan lisäarvoa asiakkailleen ja johtamaan merenkulkualan kehitystä kohti merenkulun älykästä ekosysteemiä (Kuva 4). Meriteollisuuden verkottuessaan edelleen vahvemmin toimialana, edistetään yhteistyötä ja tiedon jakamista asiakkaiden, toimittajien sekä yhteiskumppaneiden välisessä yhteistyössä, jonka mahdollistaa älykkään teknologian hyödyntäminen.

Ylikapasiteetti, vajavainen polttoainetehokkuus satamasta satamaan sekä odotteluun tuhlautuva aika satamissa ja muilla ruuhka-alueilla ovat kolme merkittävintä merenkulkualalla tehottomuutta aiheuttavaa tekijää. Wärtsilän ekosysteemiajattelussa näiden tehottomuuksien poistaminen sisältyy yhtiön merenkulun strategian perustaan. Täyttöasteiden parantaminen ja yksikkökustannusten alentaminen kuljetuskapasiteettia jakamalla, toiminnan ja energianhallinnan optimointi suurien tietomäärien analytiikalla, prosessien automatisointi ja optimointi älykkäiden alusten avulla sekä satamatoimintojen tehostaminen ja nopeuttaminen älykkäillä satamakonsepteilla ovat neljä kehityskulkua, jotka Wärtsilän näkemyksen mukaan mullistavat toimialan.

Laajan tarjontansa, mittavan asennetun laitekantansa ja toimialaosamisensa pohjalta Wärtsilä jatkaa merenkulun ekosysteemin älykkäiden teknologioiden, liiketoimintamallien ja osaamisalueiden kehittämistä. Varustamoiden ja laivayhtiöiden toimiessa kaikkialla maailmassa kestävämmiin, kannattavammiin sekä turvallisemmin älykkäällä teknologialla luodaan edellytyksiä koko yhteiskunnan kestäväälle kehitykselle. /1/



Kuva 4. Ohjauslaite aluksen komentosillalla. /1/

3 DCV-MOOTTORITEHTAAN KOEAJO

Moottoreita koeajetaan Wärtsilän Vaasan tehtaalla neljässä eri paikassa. Dieselkoeajossa sijaitsee kolme koeajosellia, joissa suoritetaan pääosin Wärtsilä 32 -moottoreiden sekä uuden sukupolven Wärtsilä 31 -moottoreiden koeajot. Wärtsilä 32 -moottorit käyttävät polttoaineenaan raskasta (HFO) tai kevyttä (LFO) polttoöljyä ja Wärtsilä 31 -moottorit ovat usein DF-moottoreita (Dual Fuel, monipolttoaine), mutta on saatavilla myös diesel ja kipinäsytytteistä kaasua käyttävät versiot. DF-moottoreita voidaan ajaa kevyellä ja raskaalla polttoöljyllä sekä nesteytettyllä maakaasulla (LNG). Dieselkoeajossa oli aiemmin polttoaineena käytössä vain kevyt ja raskas polttoöljy, josta koeajopaikan nimi johtaa.

Kaasukoeajossa sijaitsee kaksi koeajosellia, joissa koeajetaan pääosin Wärtsilä 34 -moottoreita sekä uusia Wärtsilä 31 -moottoreita. Wärtsilä 34 -moottorit käyttävät kaasua polttoaineenaan ja niistä on rakennettavissa myös DF-moottoreita (Kuva 7) sekä SG-moottoreita (Spark-ignited Gas, kipinäsytytteinen kaasumoottori). Kaasukoeajossa ajetaan pääosin kaasumoottoreita, mutta myös dieselkoeajo on mahdollista.

Pienempikokoisille Wärtsilä 20 -moottoreille on kolme koeajosellia omassa W20-koeajossa. Polttoaineena W20-koeajossa voidaan käyttää sekä dieseliä että kaasua. Wärtsilällä on huoltosopimus valtion omistaman VR Groupin kanssa, joka sisältää junien veturinmoottoreiden kunnostusta ja nämä huolletut veturinmoottorit koeajetaan myös W20-koeajossa /3/.

Wärtsilän Vaasan tehtaalla toimii myös kaikkien moottorityyppien kehittämiseen ja mittausdatan keräämiseen tarkoitettu moottorilaboratorio omine koeajotiloineen. Moottorilaboratoriossa on neljä koeajosellia moottoreille tehtäviä tutkimuksia ja testejä varten. Moottorilaboratoriota ei käytetä moottoreiden luovutusajoon tai luokitusajoihin.

Moottoreiden koeajaminen operoidaan kaikissa koeajoissa niiden yhteydessä sijaitsevista koeajovalvomoista käsin (Kuva 5), josta tapahtuu moottorin kuormittaminen, säädöt ja seuranta. Erityisesti lämpötiloja ja paineita seurataan

tarkasti. Moottoreiden koeajon suorittavat yhteistyössä koeajossa työskentelevät asentajat ja sähköasentajat, jota insinöörit valvovat ja tukevat. Sähköasentajat valvovat ja ohjaavat moottoreita UNIC-moottoriautomaatiojärjestelmän avulla (UNIC, Unified Control) ja asentajat käyttävät valvomo-ohjelmistona WOIS-käyttöliittymäjärjestelmää (WOIS, Wärtsilä Operator Interface System), jolla ohjataan ja valvotaan esimerkiksi venttiileitä ja pumppuja PLC-logiikan välityksellä (PLC, Programmable Logic Controller).

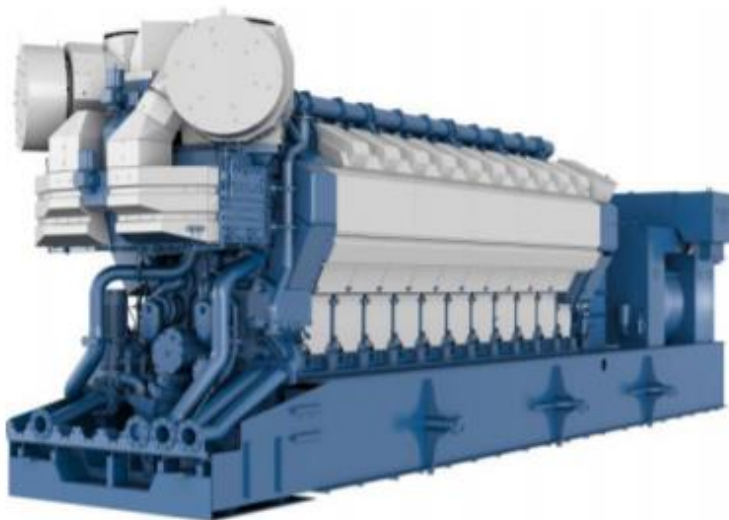


Kuva 5. UNIC-moottoriautomaatiojärjestelmän seuranta valvomossa. /4/

Koeajettaessa moottoreita (Kuva 10) on moottori aina kytkennä generaattoriin (Kuva 6) ja niitä voidaan valvomosta käsin kuormittaa Vaasan sähköverkkoon tai Vaasan sähkönsäätökeskukseen (Kuva 9). Kuormittaminen sähköverkkoon tapahtuu ohjaamalla koeajo-osaston pääkojeiston syöttöerottimet ja kiskoerottimet haluttuun tilaan, jonka jälkeen aggregaatin jännite sekä taajuus (Kuva 8) ohjataan syötettävän verkon arvoja vastaavaksi ja tahdistusehtojen täytyttyä suljetaan generaattorikatkaisija eli suoritetaan tahdistus. Kuormituksen muuttuessa säädin huolehtii jännitteen ja taajuuden säilymisestä vakiona moottorin ollessa kytkettynä verkkoon.

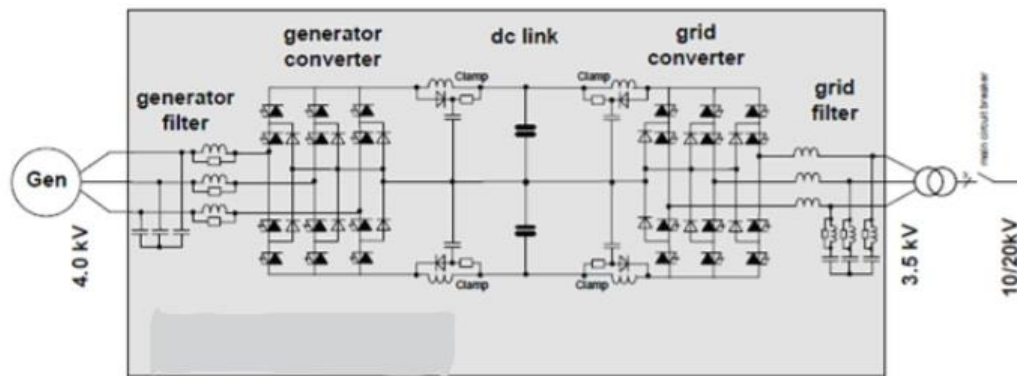


Kuva 6. ABB:n generaattori. /5/

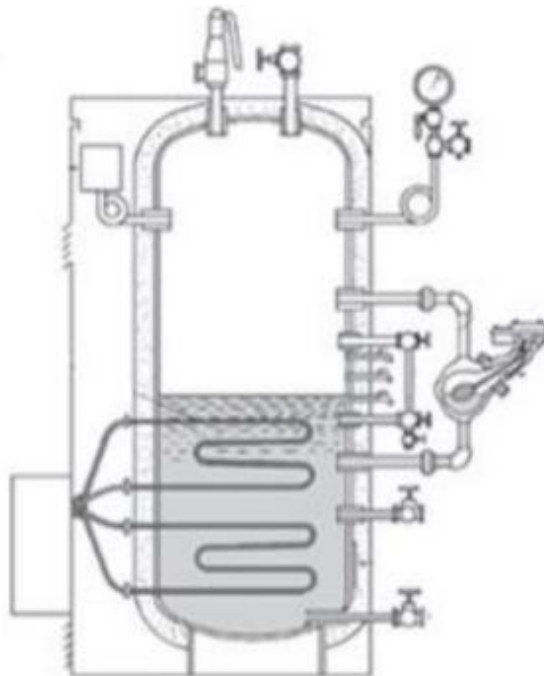


Kuva 7. Wärtsilä 34DF -moottori yhdistettynä generaattoriin. /6/

Laitoksen kuormitusjärjestelmään kuormittaminen voidaan puolestaan toteuttaa kuormitusvastuksilla eli ilma- tai vesivastuksilla, Vaasan sähkön vesipannulle tai invertterien (verkkovaihtosuuntaaja) kautta verkkoon. Tämä tapahtuu valitsemalla pääkojeistosta vastusryhmä, jota käytetään aggregaatin kuormitukseen, ohjataan syöttöerottimet oikeaan tilaan ja suljetaan generaattorikatkaisija. Tämän jälkeen käynnistetään vastusryhmän jäähdytyspuhaltimet tai vastuskattiloiden pumput.



Kuva 8. Periaatekuva kolmivaiheisen taajuusmuuttajan piirikaaviosta (kuva muokattu). /7/



Kuva 9. Esimerkkipiirros vastuskattilasta, jossa vedessä sijaitsevat vastukset lämmittävät kattilassa olevaa vettä (kuva muokattu). /8/

Moottoreiden luovutusajot (FAT, Factory Acceptance Test) ajetaan jokaiselle valmistuneelle moottorille tietyn ohjelman mukaisesti, joka on laadittu luokituslaitosten vaatimusten ja ehtojen perusteella. Luovutusajon ajo-ohjelma on hieman erilainen päämoottorilla kuin apumoottorilla. Asiakkailla on myös mahdollisuus esittää toivomuksia moottorille tehtävistä testeistä. Luovutusajoissa on kyseisen luokituslaitoksen edustaja läsnä. Luovutusajojen yhteydessä tehdään kuormanottokokeita, kuten esimerkiksi vaaditun kierrosluvun pysyvyys eli

heilahtelualue 0-100 prosentin kuormituksella nimellistehosta sekä erilaisia erikoismittauksia, joihin voi sisältyä esimerkiksi vääntöväriäntelymittauksia, lämpötaseen määrittäminen ja pakokaasuanalyysi. /9/

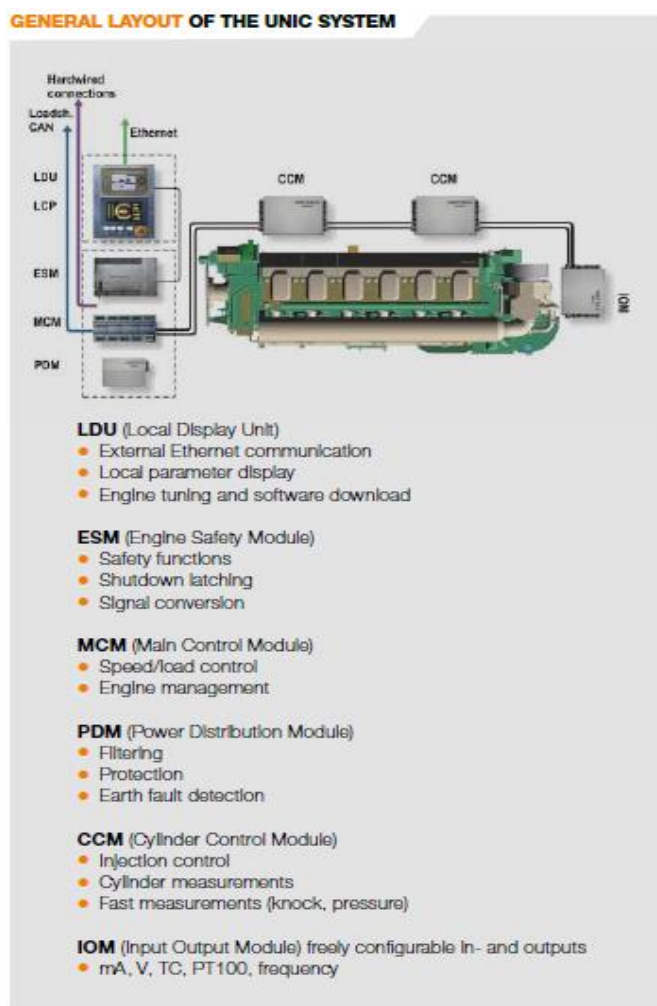


Kuva 10. Moottori ajossa. /4/

3.1 Unic-moottoriautomaatiojärjestelmä

Wärtsilän moottoreissa toimii moottoriautomaatiojärjestelmä UNIC (Unified Control), joka on moottoriin sulautettu erilaisista moduuleista koostuva kokonaisuus (Kuva 11). Moduulit on asennettu eripuolille moottoria ja ne keskustelevat keskenään. Moduuleihin lukeutuvat esimerkiksi IOM (Input-Output Module) ja CCM (Cylinder Control Module) sekä moottorin sähköpääsähkökeskuksessa sijaistavat ESM (Engine Safety Module), MCM (Main Control Module), PDM (Power Distribution Module) ja LDU (Local Display Unit). LDU sisältää näytön, josta on mahdollista tarkastella

moottoriautomaatiojärjestelmän perustietoja sekä vikalokia ja hälytyksiä. LDU:sta on apua esimerkiksi kenttäolosuhteissa, mikäli moottorin toimintaa halutaan tarkastella ilman moottorin ulkopuolista valvomoa. Kommunikointi moduuleiden kesken tapahtuu CAN-väylän välityksellä, kun taas moottorin ja ulkopuolisen valvomon kommunikointiin käytetään Ethernet-kaapelilla Modbus TCP -protokollaa. Moduuleihin kytketyistä antureista tieto valvomo-ohjelmistoon siirtyy Modbusin välityksellä tietokantaan. Valvomo-ohjelmistolla voidaan ohjata ja seurata täysin moottorin automaatiojärjestelmän toimintaa. Alla kuva UNIC-järjestelmän kokonaisuudesta. /4/

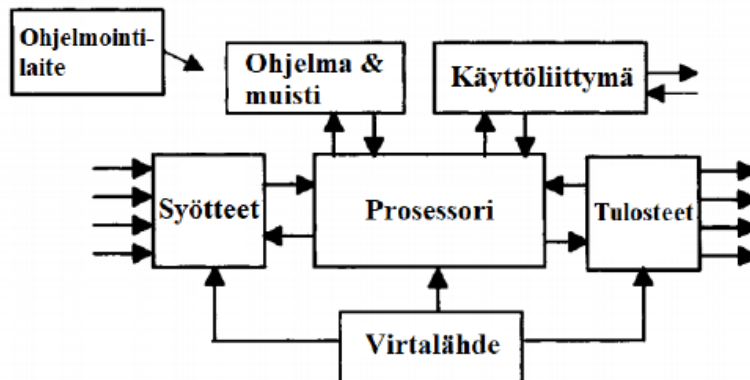


Kuva 11. UNIC-järjestelmän kokoonpanokaavio. /4/

3.2 PLC-logiikka

PLC on ohjelmoitava logiikka (Programmable Logic Controller) eli mikroprosessoripohjainen laite, johon kuuluu modulaarisia tai integroituja tulo- ja lähtöportteja (Kuva 12). Portteihin on kytketty komponentteja, kuten antureita esimerkiksi paine- ja lämpötilamittauksia varten sekä toimilaitteita, jotka voivat olla esimerkiksi venttiileitä, pumppuja, solenoideja ja moottorin käynnistimiä. Logiikka sisältää ohjelmoitavan muistin, johon PC-ohjelmistolla ohjelmoidaan tehtäviä, joita logiikkaan kytkettyjen komponenttien tulee suorittaa. Logiikan tehtävistä koostuu laajoja automaatioprosesseja. Ohjelmoitavassa logiikassa on tulo- ja lähtöliitännät (I/O, input/output), joten tuloporttien kautta tulevan tiedon avulla voidaan seurata järjestelmän tilaa ja paikallistaa mahdollisia häiriöitä

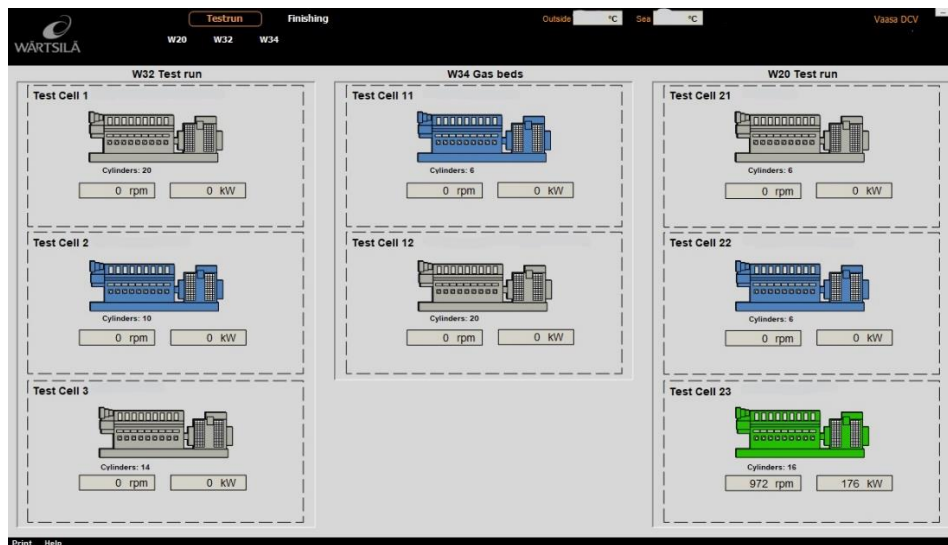
laitoksen automaatioprosesseista. PLC tukee erilaisia väyläteknologioita ja esimerkiksi Modbusin avulla voidaan I/O levittää laitoksen kentälle ja liittää siihen älykkäitä antureita sekä toimilaitteita, joka mahdollistaa suurempien tietomäärien siirtymisen. /10, 11/



Kuva 12. Esimerkki PLC-järjestelmän toimintakaaviosta. /10/

3.3 Valvomo-ohjelmisto WOIS

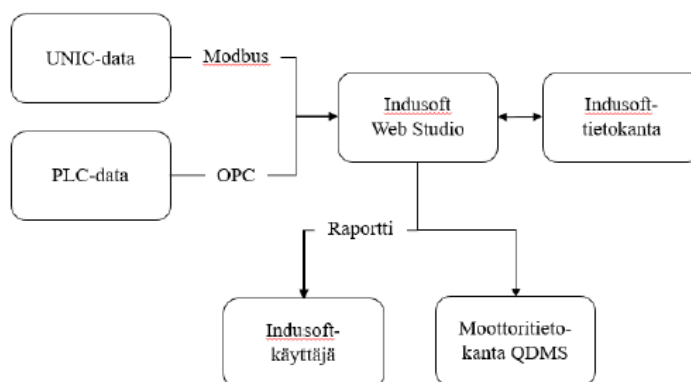
Wärtsilän Vaasan tehtaalla asentajat käyttävät koeajoissa valvomo-ohjelmistona WOIS-käyttöliittymäjärjestelmää (Wärtsilä Operator Interface System) (Kuva 13), joka on rakennettu Wonderware InTouch -ohjelmalla. Pumput, venttiilit, solenoidit ja muut laitteet, jotka on kytketty PLC-logiikkaan ovat asentajien hallinnoitavissa koeajon valvomosta WOIS:n välityksellä. Moottoreiden öljyn, polttoaineiden sekä jäähdytysnesteiden paineiden ja lämpötilojen muutoksia voidaan myös tarkkailla WOIS:ssa.



Kuva 13. Päänäkymä Indusoft-ohjelmasta. /13/

Moottorikuvakkeissa näkyvät värit kertovat koeajosellien sen hetkistä tilannetta. Vihreä väri tarkoittaa, että moottori on käynnissä ja tällöin näkyy myös moottorin kierrosnopeus ja teho kyseisellä hetkellä. Sininen väri tarkoittaa moottorin olevan kytketty. Harmaa väri kuvastaa, että sellissä ei ole moottoria (Kuva 13, muokattu).

Moottoriautomaation sekä PLC-logiikoiden tapahtuma- ja mittaustiedot tulevat WOIS:iin Indusoft Web Studio -ohjelman välityksellä (Kuva 14). Asentajien antaessa Indusoftille käskyn, se aloittaa keräämään UNIC:lta sekä PLC-logiikoilta mitattua tietoa tallentaen sitä Indusoftin tietokantaan ja mittauksen loppuessa laskee keskiarvot kerätyistä tiedoista. Tiedot lähetetään Wärtsilän moottoritietokantaan (QDMS) ja tiedoista tulostetaan tarvittaessa erilaisia raportteja. /12/



Kuva 14. Tiedonkeruun periaatekaavio Indusoft. /14/

4 WÄRTSILÄ 31 -MOOTTORI

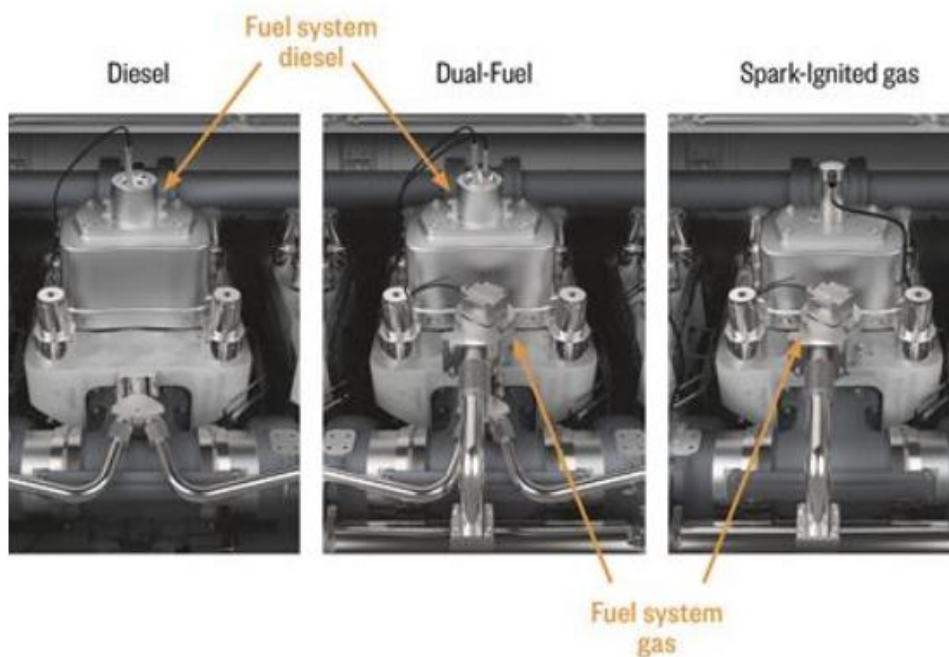
Wärtsilä 31 -moottori (Kuva 15) nostaa keskinopeiden moottoreiden standardeja tehokkuuden, omistajuuden kustannusten, polttoaineen ja toiminnan joustavuuden sekä luotettavuuden ja ympäristön jalanjäljen osalta. Wärtsilä 31 -moottori omaa nelitahtimoottoreissa luokkansa parhaan polttoainetaloudellisuuden.



Kuva 15. Wärtsilä 31 -moottori. /15/

Vähentyneet konttikuljetukset ja pitkään vallinnut raakaöljyn alhainen markkinahinta sekä uudet voimaantulleet päästölainsäädännöt ovat tuoneet haasteita sekä merenkulku- että offshore-alalle. Asiakkaat vaativat investoinneilleen pienempiä elinkaarikustannuksia sekä päästölainsäädäntöihin vastaamista ja ovat erityisen kiinnostuneita monipolttoainetyypin moottoreista. Wärtsilä 31 -moottori vastaa näihin vaatimuksiin ja lisäksi moottorin käyttöaika on parantunut sekä polttoaineen ja toiminnan joustavuudella on vähennetty moottorin toiminnasta koostuvia ympäristövaikutuksia.

Wärtsilä 31 -moottori on joustava toiminnaltaan ylläpitäen erinomaista suorituskykyä sen kaikilla toiminta-alueillaan. Tämän ainutlaatuisen optimaalisen toimintakyvyn on mahdollistanut tapa, jolla kehittynyt UNIC -moottoriautomaation ohjausjärjestelmä on yhdistetty uusimpiin teknologioihin. Parempi polttoaineenkulutus on mahdollista kaikilla moottorin kuormituksilla. Moottorin nopea käynnistys ja vastaaminen kuorman muutoksiin ovat mahdollista joustavan polttoaineen ruiskutuksen (Kuva 16), ilman ja polttoaineen suhteen säätelyn joustavuuden sekä kaksivaiheisen turboahdinjärjestelmän ansiosta.



Kuva 16. Polttoaineen joustavuus ja modulaarinen rakenne. /15/

Wärtsilä 31 -moottori noteerattiin Guinnessin maailmanennätyskirjaan, kun Guinness World Records myönsi sille maailman tehokkaimman nelitahtimoottorin tittelin vuonna 2015. Listaus perustuu moottorin korkeimpaan polttoainetehokkuuteen. Guinness World Records on yleisesti tunnustettu viranomaisen ennätyksellisissä saavutuksissa. /15/

4.1 Moottorisovellukset

Wärtsilä 31 -moottori soveltuu käytettäväksi päämoottorina, voimalaitoksen dieselmoottoriksi tuottamaan sähköä sekä apumoottoriksi. Moottorista on rakennettavissa 8–16 sylinteriset versiot 4,2 – 9,8 Megawatin tehoisina, joiden nimellisnopeudet ovat 720 rpm tai 750 rpm (rpm, kierrosta minuutissa). Moottori on optimoitavissa käymään vakionopeudella, potkurin käyrän mukaisesti tai vakio vääntömomentilla.

Aiemmin moottorit kehitettiin toimimaan dieselillä, jonka jälkeen ne sopeutettiin myös kaasukäyttöisiksi, joten niiden suorituskyky ja polttoainetehokkuus eivät koskaan olleet täysin optimoituja kaasulle tai monipolttoaineelle. Wärtsilä 31 -moottorialustasta on rakennettavissa dieselpolttoainetta, monipolttoainetta (DF) ja kipinäsytytettyä kaasua (SG) käyttävät versiot ja ne soveltuvat erilaisiin alustyyppeihin, kuten offshore-, risteily- ja lautta- sekä muihin merisegmentteihin. Monipolttoainetoiminnot lisäävät mahdollisuuksia erilaisten polttoaineiden hyödyntämisessä. Moottori toimii viskositeetiltaan alhaisilla tai vähärikkisillä polttoaineilla, meridieselpolttoaineella tai raskaalla polttoöljyllä sekä monilla erilaisilla kaasuilla, kuten nesteytetyllä maakaasulla, etaanikaasulla tai petrolikaasulla. Liitettäessä valikoiva katalysaattori (SCR) Wärtsilä 31 -moottoriin, se kykenee polttoaineen kulutuksen lisääntymättä noudattamaan IMO Tier 3 -päästöstandardeja. Wärtsilä 31 -moottori kykenee tarjoamaan maksimaalisen polttoainetehokkuuden sekä suorituskyvyn kaikissa polttoainevaihtoehdoissa. /15, 16/

4.2 Polttoainetehokkuus

Wärtsilä 31 -moottorin dieselpolttoaineen kulutuksessa voidaan päästä niinkin alhaiseen lukemaan kuin 165 grammaa kilowattituntia kohden, joka on huomattavasti vähemmän, kuin millään muulla tällä hetkellä markkinoilla olevalla nelitahtisella dieselmoottorilla. Polttoainetehokkuuden ovat mahdollistaneet uudet teknologiset ratkaisut, kuten kaksivaiheinen turboahdin, uusi polttoaineen yhteispaineruiskutusjärjestelmä sekä säädettävä venttiilinohjaus yhdessä toisen sukupolven UNIC-moottorinohjausjärjestelmän kanssa.

Uuden teknologian ansiosta polttoainetehokkuutta ja näin ollen moottorin suorituskykyä voidaan parantaa kaikilla osa-alueilla optimoimalla UNIC-automaatiojärjestelmän ohjelmiston parametreja. Automaatiojärjestelmän ohjelmistolla voidaan vaikuttaa esimerkiksi polttoaineen lämpötehokkuuteen, mekaaniseen tehokkuuteen, kitkahäviöihin ja pumpun hyötysuhteeseen sekä tehokkuuteen vaihtaessa käytettävää polttoainetta moottorin käydessä esimerkiksi dieseliltä kaasulle. /15, 16/

4.3 Polttoaineen ruiskutusjärjestelmä

Wärtsilä 31 -moottoreissa on polttoainejärjestelmänä uusi commonrail -yhteispaineruiskutusjärjestelmä. Järjestelmä helpottaa mahdollisia muutostarpeita, koska siinä ei tarvitse erillistä pilottipolttoaineen ruiskutusjärjestelmää ja samaa polttoaineen ruiskutusjärjestelmää käytetään sekä diesel- että DF-moottoreissa.

Joustavasti toimiva yhteispaineruiskutusjärjestelmä nostaa polttoaineen palamisen hyötysuhdetta, joka mahdollistaa myös savuttoman käytön kaikilla kuormituksilla ja vähäisemmät hiukkaspäästöt. Polttoaineen ruiskutuksen joustavuus parantaa hyötysuhdetta etenkin alhaisilla kuormilla, joilla alukset nykyään usein operoivat. Moottoria on mahdollista käyttää pienillä kuormilla ilman rajoitteita sekä vähärikkisillä polttoaineilla että dieselöljyllä tai raskaalla polttoöljyllä. Mikäli aluksessa on Wärtsilä 31 DF -moottori, on rannikkoaluetta lähestyessä helppoa vaihtaa käytettävä polttoaine välittömällä muutoksella dieseliltä kaasulle. /15/

4.4 Kaksivaiheinen turboahdinjärjestelmä

Wärtsilä 31 -moottorin toisen sukupolven kaksivaiheisessa turboahdinjärjestelmässä tuloventtiili on mahdollista sulkea aikaisemmin, jonka ansiosta saavutetaan alhaisempi palamislämpötila. Turboahdinjärjestelmän painesuhde on yli 10 baaria, joka nostaa moottorilta saatavaa tehoa sekä vähentää polttoaineen kulutusta. Kaksivaiheisen turboahdinjärjestelmän hyötysuhde on yli 75 prosenttia, mikä on noin 10 prosenttia enemmän, kuin yksivaiheisella turboahtimella. Tämä on suuri ero, koska tämän teholuokan moottorissa pienelläkin turboahtimen hyötysuhteen parannuksella on suuri vaikutus

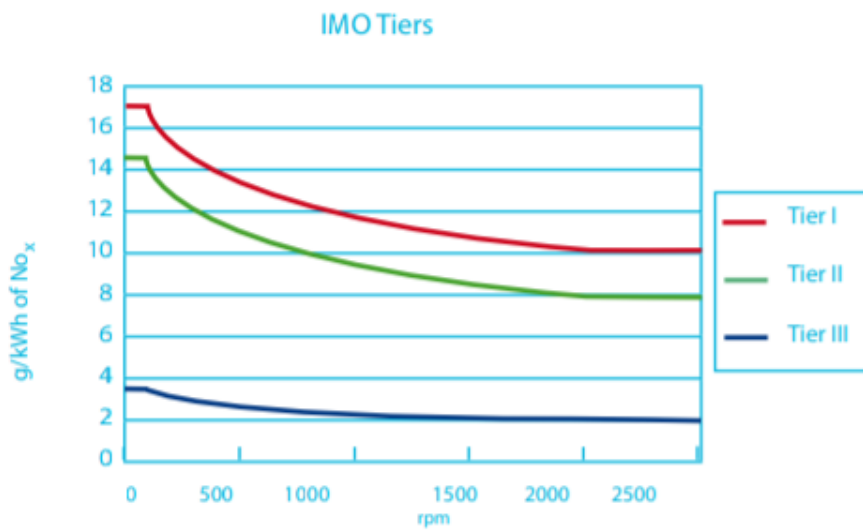
polttoainetehokkuuteen, joten myös päästöt vähenevät. Korkeapaineisen turboahtimen parantunut vaste parantaa moottorin kuormituksen suorituskykyä sekä kuorman käyttäytymistä pienillä kuormilla. UNIC-automaatiojärjestelmän ohjaamana kaksivaiheinen turboahdinjärjestelmä on siten myös joustava, koska sen toimintaa voidaan säätää ja optimoida erilaisiin käyttötarkoituksiin. /15/

4.5 Säädettävä venttiilitoiminto

Polttoaineen yhteispaineruiskutusjärjestelmä ja kaksivaiheinen turboahdinjärjestelmä tarvitsevat säädettävän venttiilitoiminnon, jotta niitä voidaan hyödyntää optimaalisesti. Joustavalla venttiilitoiminnolla varmistetaan moottorille kaikissa toimintaolosuhteissa optimaalinen ilman ja polttoaineen suhde sekä vakaassa tilassa että kuorman muutoksissa. Sylinterien tasapainottamista voidaan parantaa myös imuventtiilin sulkimen ohjauksella, joka voidaan säätää jokaiselle sylinterille erikseen. Imu- ja pakovenntiilien toiminta eivät tarvitse säännöllistä viritystä Wärtsilä 31 -moottorissa käytettävän uuden hydraulisen venttiilitoiminnon ansiosta. /15/

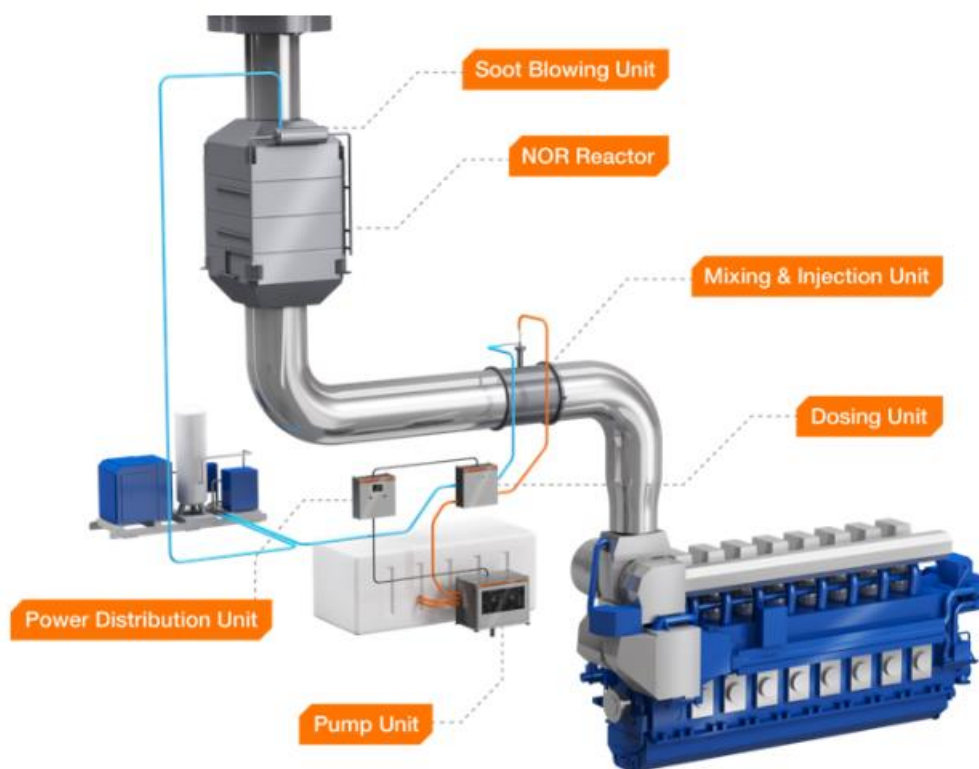
4.6 Ympäristöjalanjälki

Wärtsilä 31 -moottori on optimoitu IMO:n (International Maritime Organization) ja EPA:n (United States Environmental Protecting Agency) päästölainsäädäntöjen mukaisesti. Toimiessaan kaasulla moottori täyttää IMO Tier 3 (Kuva 17) ja EPA Tier 3 vaatimukset. Dieselillä käydessään moottori tarvitsee näiden vaatimusten täyttämiseen pakokaasujen puhdistukseen SCR-teknologiaa (Selective Catalytic Reduction). SCR-teknologiana käytetään Wärtsilän valmistamaa NOR-järjestelmää (Wärtsilä NOx Reducer) (Kuva 18). SCR ei aiheuta polttoainekulutuksellisia häviöitä. Selektiivisellä katalyyttisellä pelkistys toiminnalla (SCR) vähennetään moottorin pakokaasuista typen oksidien (NOx) määrää katalysaattorielementtien ja pelkistimen avulla.”Tier-standardit (Tier 1, Tier 2 ja Tier 3) määrittelevät laivoille asennettujen dieselmootoreiden päästötasot valmistusvuoden mukaan /31/.”



Kuva 17. Kaavio kolmen Tierin päästöstandardeista. /31/

Näillä tehokkailla toimilla vähennetään moottorista koituvaa kasvihuoneilmiötä niin, että hiilidioksidipäästöt (CO₂) ja kaasumoottorista aiheutuvat hiilivetypäästöt (THC) ovat vähentyneet jopa 50 prosenttia. Toiminnallisiin hyötyihin lukeutuvat myös savuton toiminta ja hiukkaspäästöjen väheneminen. /15, 17, 18/



Kuva 18. Tekninen kaavio NOR-järjestelmästä. /18/

NOR-järjestelmässä on pääkomponenttina reaktori, jossa on nokipuhallusyksikkö ja katalyyttielementit, jotka on validoitu Wärtsilän moottoreille ja erilaisille polttoöljylaaduille. Muut olennaiset NOR-järjestelmän modulaariset osat ovat tehonsyöttöyksikkö, ureapumppuyksikkö sekä SCR-toimintoa, urean sekoittamista ja ruiskutusyksikköä ohjaava urean annosteluyksikkö (Kuva 18).

4.7 Luotettavuus ja huolto

Wärtsilä 31 -moottorin käyttöaika on parantunut huoltotoimenpiteiden tarpeiden ja niiden taajuuksien vähentyessä. Vastaavan tehoiset moottorit tarvitsevat ensimmäisen huoltopysäytyksen noin 1000 käyttötunnin kohdalla, kun taas Wärtsilä 31 -moottorilla se on ajankohtaista noin 8000 käyttötunnin kohdalla. Ensimmäinen laajempi huoltopysäytys on suunniteltu ajankohtaiseksi, kun moottori on käynyt 32 000 tuntia tai viisi vuotta.

Wärtsilä 31 -moottorin toimintavarmuus on todettu kattavilla laskelmilla sekä simulaatioilla, Wärtsilän laajaa diesel-, kaasu- ja monipolttoainemoottoreista

kertynyttä kokemusta maailman eri toimintaolosuhteista hyödyntäen. Moottorin kaikkiin uusiin teknologioihin käytettiin rig-testausta ja kaikkien kolmen (diesel-, SG- ja DF-) laboratoriomootorin validointiin vuoden 2015 neljänteen kvartaaliin mennessä testejä oli kokonaisuudessaan kertynyt yli 30 000 tuntia.

Luotettavuutta on varmistettu myös minimoimalla huoltoon liittyviä toimia. Esimerkiksi venttiilinvälitys on poistettu ja huoltokonsepteja on uudistettu ottaen käyttöön vaihdettavia yksiköitä. Esimerkiksi työntötangosta, männästä, sylinterinholkista ja sylinterinkannasta sekä siihen liittyvistä putkista on rakennettu kokonaisuutena Powerpack-yksikkö, kun aikaisemmin näistä osista koostui erilliset varaosat.

Kaikista edellä mainituista seikoista koostuu kokonaisuus, jolla saavutetaan korkea luotettavuus sekä vähemmän huoltoon vaadittavia toimenpiteitä, joten myös huoltokustannukset vähenevät ja moottorin käyttöaika kasvaa. /15/

4.8 Modulaarinen rakenne

Wärtsilä 31:n uusi modulaarinen rakenne on keskeinen tekijä sen parantuneen käyttöajan kannalta. Modulaarinen rakenne nopeuttaa korjauksia sekä tukee tulevaisuuden päivityksiä. Diesel-, DF- ja SG-moottorit käyttävät samoja komponentteja ja teknologioita, joten moottoria on mahdollista myös muuntaa tehokkaasti. Myöskään koneistusta ei tarvita muutettaessa moottori eri polttoaineilla toimivaksi, koska komponenttiliitännät ovat standardisoituja. Aluksien omistajilla on mahdollisuus päivittää moottoreita ja asennuttaa niihin tulevaisuudessa uusinta teknologiaa yksinkertaisesti vain vaihdattamalla uuden moduulin vanhan tilalle. Teknologioiden kehittyessä, uusien mahdollisten päästöstandardien astuessa voimaan tai otettaessa käyttöön uusia polttoainetyyppejä, voidaan vanhan moduulin tilalle vaihtaa päivitetty moduuli.

/15/

5 WÄRTSILÄ 31 JA TOISEN SUKUPOLVEN UNIC-AUTOMAATIOJÄRJESTELMÄ

Wärtsilän 31 -moottorin automaatiojärjestelmänä toimii toisen sukupolven kehittynyt UNIC-järjestelmä, joka on keskeinen tekijä Wärtsilä 31 -moottorin tehokkaan suorituskyvyn mahdollistamisessa.

Asiakkaiden tarpeet lisääntyvät jatkuvasti erilaisille variaatioille samanaikaisesti markkinaympäristön jatkuvan muutoksen rinnalla, joten myös moottorin automaatiojärjestelmän on oltava joustava, jotta sitä voidaan aina tarvittaessa optimoida tulevaisuuden tarpeita vastaavaksi. Toisen sukupolven UNIC-järjestelmän ohjausjärjestelmässä on joustava laitteisto ja ohjelmisto sekä mahdollisuus muuttaa toimintaprofiilia. /19/

5.1 UNIC-järjestelmän historia

Wärtsilän 31 -moottorin automaatiojärjestelmänä toimii toisen sukupolven kehittynyt UNIC-järjestelmä, joka on keskeinen tekijä Wärtsilä 31 -moottorin tehokkaan suorituskyvyn mahdollistamisessa.

Asiakkaiden tarpeet lisääntyvät jatkuvasti erilaisille variaatioille samanaikaisesti markkinaympäristön jatkuvan muutoksen rinnalla, joten myös moottorin automaatiojärjestelmän on oltava joustava, jotta sitä voidaan aina tarvittaessa optimoida tulevaisuuden tarpeita vastaavaksi. Toisen sukupolven UNIC-järjestelmän ohjausjärjestelmässä on joustava laitteisto ja ohjelmisto sekä mahdollisuus muuttaa toimintaprofiilia.

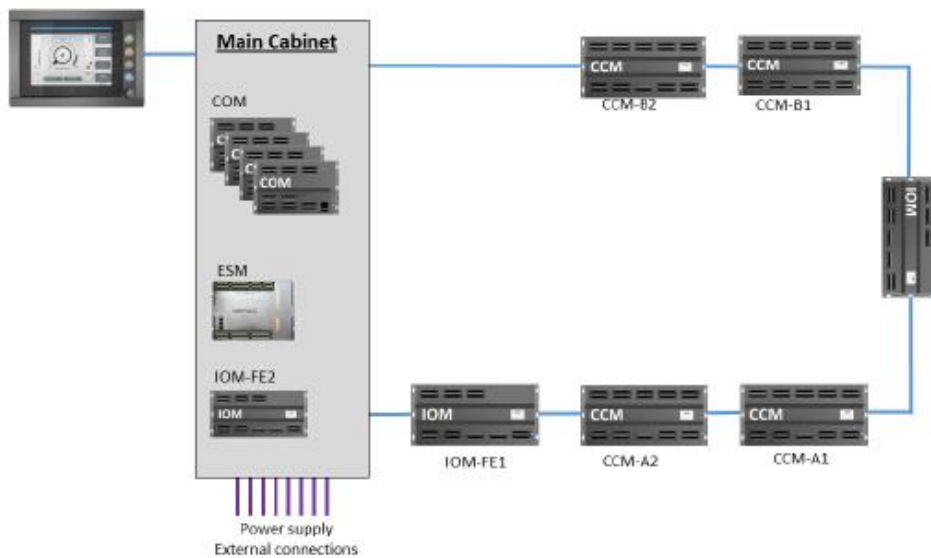
Otettaessa UNIC käyttöön, kehitettiin samalla useita strategisia suunnittelukonsepteja, joista monet olennaiset ovat käytössä myös toisen sukupolven UNIC-järjestelmän perustana. Moottoriin asennettava modulaarinen sekä jaettu rakenne on laitteistopuolen pääominaisuus. Johdotuksissa liitäntöjen vähäisyys, pisteiden väliset kaapeliyhteydet sekä niin kutsuttu ”lentäväjohto”-konsepti ollaan säilytetty, koska ne ovat osoittaneet erinomaisen luotettavuuden johtosarjapohjaisiin ratkaisuihin verrattuna. Modulaarisen

järjestelmäarkkitehtuurin, Wärtsilän modulaarisen sovellusalustan (WMAP) malli jatkaa ohjelmistoalustana. Mallipohjaiset rakenneperiaatteet sekä suuri osa sovellustoiminnoista ovat myös todistaneet kestäväytensä ja jatkavat osana perustaa. Tämä varmaksi koettu ja kestävä automaatiojärjestelmän infrastruktuuri toimii askeleena uusille toiminnoille. /19, 20/

5.2 Wärtsilä 31 UNIC-järjestelmä

UNIC-automaatiojärjestelmä on moottoriin sulautettu moottorin hallintajärjestelmä (Kuva 20). Järjestelmässä on modulaarinen rakenne ja jotkin UNIC-kokoonpanon osat ja toiminnot ovat valinnaisia sovelluksesta riippuen. Järjestelmä on suunniteltu erityisesti vaativien ympäristöolosuhteiden moottoreihin, joten huomiota on erityisesti kiinnitetty lämpötilan ja tärinän kestäväyteen. Tämä mahdollistaa järjestelmän asentamisen suoraan moottoriin, jossa on kompakti rakenne (Kuva 21). Sisään- ja ulostulojen määrä on optimaalisesti sovitettu tähän järjestelmään ja galvaanisen signaalin eristys on myös tehty vastaamaan näitä tarpeita.

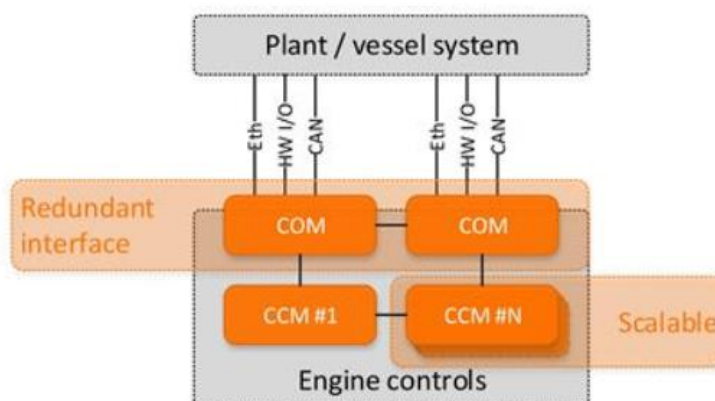
UNIC-järjestelmä käsittelee kaikki tehtävät liittyen käynnistyksen ja pysäytyksen hallintaan, moottorin turvallisuuteen, polttoaineen käsittelyyn, nopeuden ja kuorman hallintaan, sekä latausilman, jäähtymisen ja palamisen hallintaan. Järjestelmä hyödyntää moderneja väylätekniikoita anturien ja muiden signaalien tiedonsiirrossa. UNIC-automaatiojärjestelmää voidaan käsitellä ohjelmistopohjaisella tietokoneella, jota käytetään parametrien optimointiin, vianetsintään ja ohjelmistojen asentamiseen. /21/



Kuva 19. UNIC-järjestelmän moduulien yleiskatsaus. /21/

5.3 Modulaarisuus

Toisen sukupolven UNIC-laitteisto koostuu erilaisista moduuleista (Kuva 19), joilla on omia erityisominaisuuksia. Sylinterin ohjausmoduulit (CCM), tulo- ja lähtömoduulit (IOM) ja turvamoduuli (ESM) sekä järjestelmän käyttöliittymä, joka koostuu yhteysmoduuleista (COM) ja moottorin näyttöyksiköstä (LDU) (kuva 25).



Kuva 20. UNIC-järjestelmän yleiskatsaus. /19/

Tällä rakennelmalla järjestelmää voidaan käyttää sekä yksinkertaisissa yhden moduulin nopeuden tai kuorman ohjaussovelluksissa, kuin mihin tahansa

sylinterikokoonpanoon, kuten esimerkiksi 20 sylinterisen kaasumootorin ohjaukseen, jossa on yhteensä 12 – 14 moduulia.



Kuva 21. Toisen sukupolven UNIC-järjestelmä Wärtsilä 31 -moottorissa. /19/

Monikäyttöisillä tulo- ja lähtökanavilla rakennetaan optimaalisesta määrästä moduuleja järjestelmä, jolla saadaan kustannustehokas ratkaisu. Moottorin moduuleille asennettavat automaatiomodulit voidaan testata vaiheittaisesti varmistaen luotettava validointiketju.

Ohjelmiston alustan perustan arkkitehtuurina on modulaarinen hierarkia. Sovellusmoduulien ja kokoonpanon kanssa alusta muodostaa tuotekohtaisen paketin. Ohjelmiston alustan ollessa yhteinen kaikissa moottoreissa sekä sovellusmoduulien ja kokoonpanon ollessa tuotekohtaisesti valittuja, saavutetaan paras mahdollinen uudelleenkäytettävyys. /19, 20/

5.4 Polttoaineen ja toiminnan joustavuus

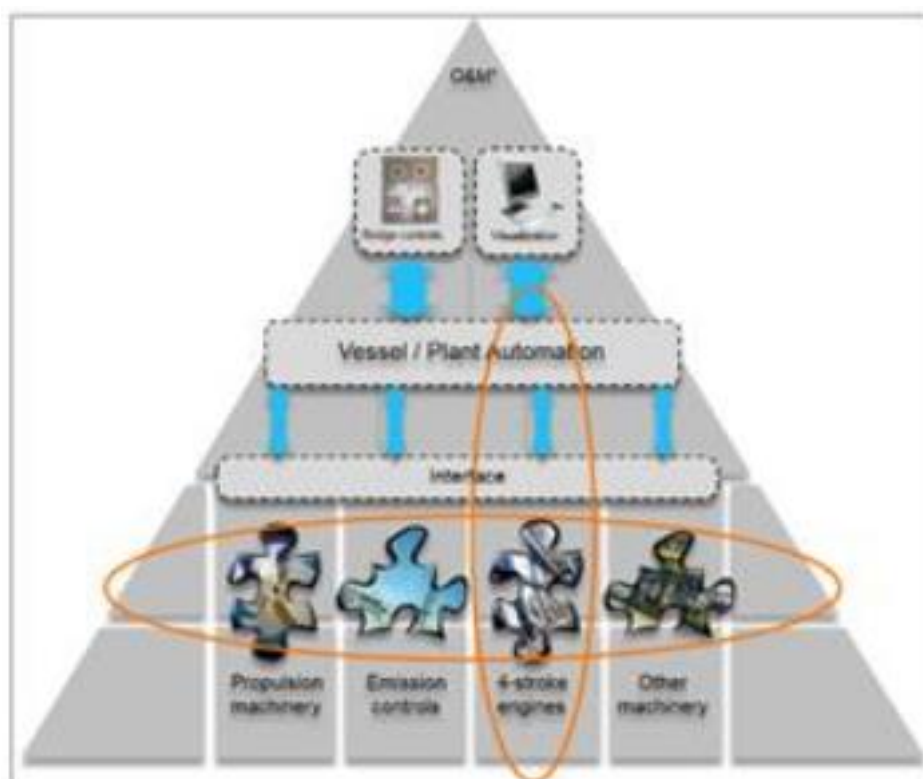
Toiminnallinen joustavuus sekä kyky huomioida muuttuvat olosuhteet, kuten esimerkiksi polttoainetyypin vaihdossa sujuvan siirron mahdollistaminen uusiin olosuhteisiin, välittömät reaaliaikaiset operatiiviset muutokset sekä järjestelmän ominaisuuksien päivitykset, kuten esimerkiksi jälkiasennettavat arvopaketit. Automaatiojärjestelmää on modulaarisen arkkitehtuurin vuoksi helppo päivittää

uusilla ohjausmoduuleilla ja toiminnallisuuksilla, esimerkiksi uusille polttoainetyypeille. Toisen sukupolven UNIC-järjestelmän laaja kapasiteetti mahdollistaa uusien toimintojen käyttöönoton täyteen joustavuuteen reaaliaikaisessa toiminnassa, kuten esimerkiksi tasaiset vaihdot polttoainetyyppien välillä. /19/

5.5 Käytettävyyden hallinta

Moottorin käytettävyyden hallinta on erityisen tärkeässä roolissa monissa moottorisovelluksissa. Toisen sukupolven UNIC-järjestelmä tarjoaa tätä sen arkkitehtuurin, suunnittelun ja diagnostiikan avulla.

Tyypillinen moottorinohjausjärjestelmä sisältää vähintään kaksi COM-moduulia päällekkäisten liitäntärajapintojen vertikaalisen ja horisontaalisen integroimisen mahdollistamiseen (Kuva 22). Kaksoiskytkentäliitännän ansiosta moottorinohjauksen yhteys on aina varmistettu yksittäisen vian varalta. Paikallisen ohjauksen varmistamiseen voidaan asentaa kaksi LDU-näyttöä.



Kuva 22. Moottorinohjausjärjestelmien integrointikaavio. /19/

Sujuva tiedonsiirto ja hajautetun moottorin ohjausjärjestelmän ohjaus on mahdollistettu suuremmalla tiedonsiirron kaistaleveydellä. Ohjauksen suoritus voidaan synkronoida mahdollistamaan oikeat päällekkäisten ohjauksen käytöt vikatilanteen sattuessa.

Käytettävyyden hallintaa on varmistettu myös kehittyneemmällä diagnostiikalla ja ennusteilla. Esimerkiksi Wärtsilä 31-moottorissa käytettävät sähköiset toimilaitteet kykenevät antamaan keräämistään tiedoistaan ennustetietoja, joiden avulla voidaan tunnistaa mahdolliset huoltotarpeet ennen varsinaista vikatilannetta. Tämä mahdollistaa kuntoon perustuvan suunnitelmallisen huollon asiakkaan aikataulujen mukaisesti.

UNIC-järjestelmä on luonut uuden luotettavuuden tason, joka on äärimmäisen tärkeää korkean laadun ohella, täytettäessä toisen sukupolven lisäohjauksien käyttöönottojen tuomat vaatimukset. Toisen sukupolven UNIC-järjestelmän

vankka rakenne perustuu aiempaan kokemukseen vanhoista järjestelmistä ja uuden käyttöön otetun sähköisen suunnittelun laadunvarmistusmenetelmiin.

Wärtsilä varmistaa automaatiokomponenttien saatavuuden koko elinkaaren ajan Wärtsilän moottorituotteille. Yleinen trendi suuren tuotannon kulutuselektroniikkatuotteissa on elektroniikan elinkaaren lyhentymisen. Automaatiokomponenttien saatavuuteen liittyvät haasteet on käsitelty huolellisella elektroniikkakomponenttien valinnalla, pitkän aikavälin vanhentumisen ennustamisella sekä vanhentumisstrategian toteutuksella varmistuen moottorin ohjauksen varaosien saatavuus. /19, 22/

5.6 Lämpötila ja vikatilanteiden simulointi

Elektroniikan suunnittelussa valinnat ovat aiemmin perustuneet komponenttien luokituksiin ja hyviin suunnitteluperiaatteisiin. Prototyypivaiheen aikana suunnittelu on todennettu ja tulokset viety seuraavaan kehitysasteen suunnitteluun.

Nykypäivän simulointimenetelmillä suunnittelun varmistaminen on mahdollista jo ennen prototyyppiä. Suunnittelussa vikatilanteet voidaan simuloida ja ennustaa vuosia ennakkoon. Kriittisimmät parannukset voidaan tehdä jo ennen prototyyppiä. Asettamalla suunnittelun luotettavuus hyväksyttävälle tasolle on käytetty parempaa validointiketjua, jolla on varmistettu toisen sukupolven UNIC-automaatiojärjestelmän komponenttien suunnittelun laadunvarmistus. /19, 23/

5.7 Automaatiokomponenttien validointi

Automaatiokomponenttien validointimenetelmiä on kehitetty edellisen UNIC-sukupolven validointikokemusten pohjalta ja nykyään ne on integroitu täysin sisäisten komponenttien vapautusprosesseihin. Moottorin toimintatestien lisäksi validointiprosessi sisältää toiminnallisen, kestävyys- ja nopeutetun elinkaari testin. Esimerkiksi nopeutettua elinkaaritestausta (HALT– Highly Accelerated Life Test) on käytetty aktiivisesti komponenttien syklien suunnittelussa ja se on todettu hyväksi validointimenetelmäksi, jolla voidaan ehkäistä ja kehittää mahdollisia heikkoja kohtia automaatio suunnittelussa (Kuva 23).



Kuva 23. Komponenttien nopeutettuun elinkaaritestiin käytettävä laite. /19/

Moottorinohjausjärjestelmän automaattisen toiminnallisuuden validointi on tukenut tehokkaita suunnittelusyklejä ja hyvää validoinnin seurausta. Tulokset ovat osoittaneet, että komponenttien laatu ja elinkaaren pituus ovat kehittyneet merkittävästi./19, 24, 25/

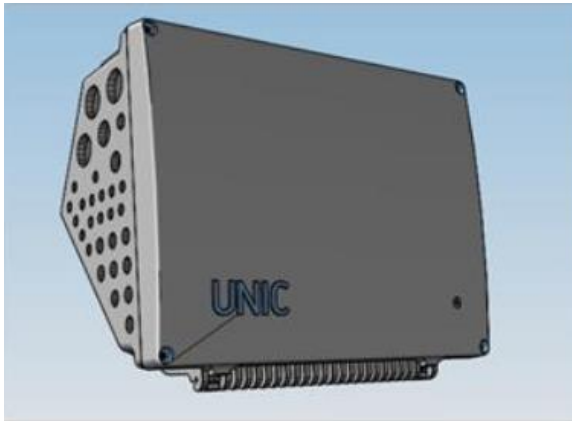
5.8 Automaation sähkömekaaninen suunnittelu

Wärtsilän pitkäaikainen kokemus automaation sähkömekaanisessa suunnittelussa toimii vakaana pohjana Wärtsilä 31 -moottorin sähkömekaanisessa suunnittelussa. Palautetta kentältä kertyneistä kokemuksista on yhdistetty päivitettyihin suunnittelun linjauksiin ja sovellettu Wärtsilä 31 -moottorin automaatio suunnittelussa varmistuen korkea luotettavuus sekä moottorin hallintalaitteiden helppo huollettavuus. Moottorin mekaanisessa suunnittelussa kiinnitettiin huomioita moottorin automaatiokomponenttien kaapelien asetteluun sekä reititykseen. Erityistä huomiota on kiinnitetty myös lämpötiloihin, tärinään, öljyyn ja terävien reunojen välttämiseen. Moottorin ohjaus ja automaatio moduulien mahdolliset tärinään liittyvät tapaukset on ehkäisty todistetusti toimivilla vaimentimilla. /19/

5.9 Elektroninen moduulikotelo

Wärtsilä 31 -moottorille kehitettiin uusi elektroninen moduulikotelo WTB-20. Elektronisten moduulien asianmukaisen IP-suojauksen lisäksi WTB-20 on suunniteltu mekaanisesti helpoksi asentaa moottoriin sekä helppokäyttöiseksi huoltaa ja ylläpitää. IP-luokitus tarkoittaa kuinka laite on suojattu vedeltä sekä vieraiden esineiden ja pölyn sisäänpääsystä /30/. Moduulikotelolta on asentajaystävällistä tehdä mittauksia ja tarkastaa ohjaussignaaleita sekä vaihtaa varaosia. WTB-20 kotelon (Kuva 24) suunnittelussa on tarkasti huomioitu myös lämmöntuotannon simulointia.

WTB-20 moduulin mahdollistaman vaivattoman varaosien vaihtamisen lisäksi toisen sukupolven UNIC-ohjattu käynnistys mahdollistaa automaattisen ohjelmiston lataamisen ja tietojen synkronoinnin. Asennettaessa varaosamoduuli moottoriin, tunnistaa UNIC tämän automaattisesti ja lataa oikean ohjelmiston moduulille heti kun se on turvallista. Moduulin käynnistyessä uudella ohjelmistolla, järjestelmä huolehtii järjestelmän tilan synkronisoinnista ja käsittelee tiedot ohjausmoduulille ennen kuin se siirtyy toiminnalliseen tilaan ohjaamaan moottorin toimintoja. Tämä mahdollistaa turvallisen ja vaivattoman moduulin vaihdon sammuttamatta koko moottorin ohjausjärjestelmää. /19/



Kuva 24. WTB-20 moduulikotelo. /19/

5.10 Paikallinen näyttöyksikkö LDU-30

Järjestelmän käytettävyyden kehittäminen käyttäjäystävällisemmäksi tarkoittaa, että sen monimutkaisuutta on tärkeää vähentää. Toisen sukupolven UNIC järjestelmässä toimii moottoriin asennettu paikallinen näyttöyksikkö LDU (Local Display Unit). LDU-30 on kehitetty keskittyen käyttäjälähtöisyyteen, haastatteleamalla Wärtsilän huoltohenkilökuntaa ja asiakkaiden edustajia. Näistä saatujen ideoiden perusteella on kehitetty LDU-30 käytettävyys ja teollinen muotoilu huomioiden.



Kuva 25. LDU-30-näyttöyksikkö. /19/

LDU-30 omaa intuitiivisen käyttöliittymän kosketusohjaimilla, joiden avulla siitä on käyttäjäystävällistä tarkastella moottorin perustietoja sekä moottorin toimintoja (Kuva 25). LDU-30:n valo-ohjaus mahdollistaa moottorin toiminnan tilan ilmaisun värein sekä vilkkuvin kuvioin, jotka ohjaavat käyttäjää haluamiinsa toimintoihin sekä ylläpitotarkastuksiin koskien moottorin toimintoja. Lisäksi näytöltä on mahdollista tarkastella syvällisemmin moottorin toiminnan mittaustietoja sekä tarvittaessa visuaalisesti moottorin diagnostiikkatietoja.

Ylläpidettävyyden ja huollon näkökulmasta LDU-30 mahdollistaa sujuvan pääsyn moottorin prosessitietoihin ja hälytyslokiin. Tietojen vienti ja ohjelmistonpäivitystoiminnot kulkevat näyttöön integroidun USB-portin kautta.

Samanlainen ulkoasu sekä tuntuma on käytettävyyden näkökulmasta tärkeä seikka läpi koko ketjun, on käyttäjä sitten aluksen sillalla, laitosohjaamossa tai konehuoneessa. On tärkeää, että ohjaustoiminnot ja tiedon esitystapa toimivat samalla tavalla, riippumatta siitä mitä Wärtsilän laitetta operaattorilla käytetään. Tämän vuoksi Wärtsilän ulkoasu ja tuntuma on sovitettu kaikkien koneen rajapintojen suunnitteluun. Tämä on yksi LDU-30 suunnittelun tärkeimmistä elementeistä, kuvastaen Wärtsilän ohjauspaneelin suunnittelua eri tavoin. /19/

5.11 Diagnostiikka

Moottorin ohjaustoimintojen kehittyessä edistyneemmiksi ja lisättäessä mittauksia sekä toimilaitteita järjestelmään, on lisääntynyt monimutkaisuus tehnyt moottorin toiminallisuuksien ja ohjauksien vianetsinnän haasteellisemmaksi (Liite 1 osa 2). Yksittäinen vikatilanne ohjausjärjestelmässä on perinteisesti voinut laukaista monia hälytyksiä. Toisen sukupolven UNIC-järjestelmän parannettu kapasiteetti osaa sovittaa yhteen erilaisia hälytyksiä, joiden avulla operaattorin tai huoltohenkilön on mahdollista paikantaa todellinen vian juurisyy. Parannettu kapasiteetti laajentaa kokonaisuudessaan myös diagnostiikkatoimintoja, kuten tunkeutumisen havaitsemista ja jäähdytysdiagnostiikkaa. /19, 26/

5.12 Moottorin suorituskyvyn varmistaminen

Useiden ohjaavien tekijöiden, kuten esimerkiksi tiukentuneen päästölainsäädännön, polttoaineen kulutuksen, polttoaineen laadunvaihtelun sekä yleisen suorituskyvyn ansiosta on toisen sukupolven UNIC-järjestelmää kehitetty paljon, jotta on optimoitu suljetun säätöpiirin ohjaukset (closed-loop control) vastaamaan nopeaan toimintaan ja kestävään ohjausdynamiikkaan. Suunnittelun kannalta on erityisen tärkeää, että kaikki suljetun säätöpiirin ohjausketjun osat toimivat tehokkaasti yhdessä. Asiat jotka ovat voineet näyttää aluksi merkityksettömiltä, voivat vaikuttaa valtavasti lopputulokseen. Mittaus- ja ohjausketjun kaikkien osien on toimittava, jotta kiinteisiin ohjauksen algoritmeihin perustuva järjestelmä toimii optimaalisesti. Ohjauksen optimoimiseksi on tärkeää tunnistaa keskeiset ohjausdynamiikkaan vaikuttavat tekijät sekä ne joiden suunnittelulla voidaan tehdä muutoksia. Tärkeimpiä vaikuttavia tekijöitä ovat reaaliaikaiset ohjausmoduulit, anturit, mittaussignaalin toimivuus, verkkoyhteys, ohjausalgoritmit ja toimilaitteen ohjaus. Korkean ohjauksenhallinnan laadun varmistamiseksi nämä kaikki edellämainitut tekijät on suunniteltava tarkasti. Toisen sukupolven UNIC-laitteisto mahdollistaa kehittyneemmät ajoitusrajoitukset mittaussignaalien toimivuuteen, ohjausalgoritmin päivityksen, toimilaitteen ohjauksen sekä nopeat ja varmat verkkoyhteydet. Tämä mahdollistaa järjestelmälle suurien tietomäärien siirtämisen

molempiin suuntiin, mikä on osittainen edellytys kiinteiden ohjaussovelluksien rakentamiselle.

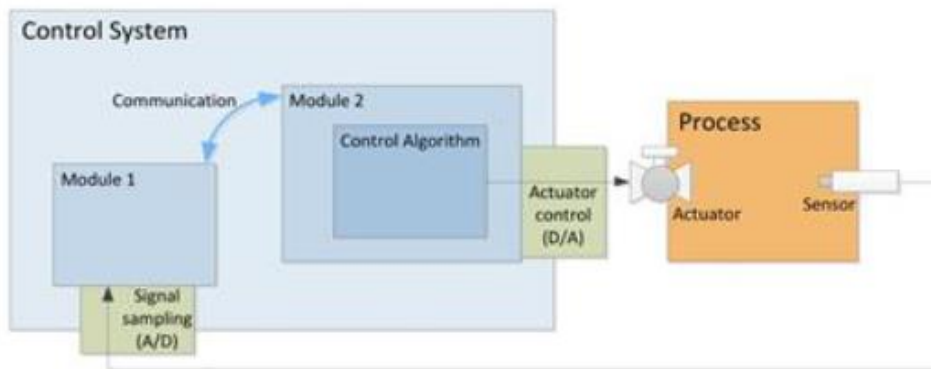
Mittauslaadun kehittämiseksi on valvonnan laadukkuuteen panostettu merkittävästi. Esimerkiksi FPGA-laitteistossa (field-programmable gate array) on erinomainen alusta erityyppisille signaalikäsittelyille, kuten mittaustilastojen analysointiin. Mittauslaatu on kasvanut selkeästi näiden kehitysaskelien myötä ja sillä on suora vaikutus myös eri ohjauspiirien luotettavuuteen.

UNIC-järjestelmän toimivuuden varmistamiseksi on tärkeää, että järjestelmän erilaiset ohjausmoduulit ovat synkronoituja niiden maksimaalisen toiminnan kannalta. Ohjausmoduulien välisen tehokkaan tiedonsiirron ansiosta voidaan täyttää tiukat ajoitusten vaatimukset sekä varmistaa ohjausalgoritmien toimittaminen ajantasaisten mittaustietojen perusteella. Tämän tuloksena ohjainten ulostulot saavuttavat järjestelmän toimilaitteet ilman merkittäviä viiveitä. /19, 27/

5.13 Muuttuvat säädöt

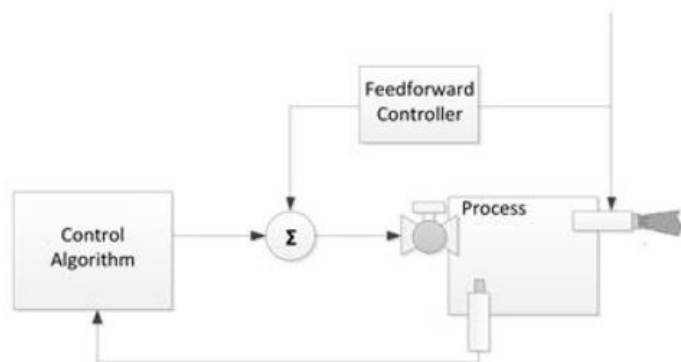
Moottorin ohjauksen säätöjen trendit osoittavat selkeän siirtymisen tasaisen ohjauksentilan säädöistä muuttuvan ohjauksentilan säätöihin. Moottorin kyky toimia nopeasti erilaisissa käyntitilanteissa on asia, jota on seurattava huolellisesti. Vaikka vakaa tasaisen tilan ohjaus on erityisen tärkeää, on myös kyettävä vastaamaan nopeasti muuttuviin olosuhteisiin, jolloin tarvitaan muuttuvia algoritmeja.

Erityyppisillä syöttöohjaimilla, kuten esimerkiksi etusyötön syötönohjauksella (Kuva 27) suljetun silmukan ohjaimelle (Kuva 26) autetaan moottoria vastaamaan nopeasti muuttuvaan kuormaan käydessään tasaisella kuormalla. Syöttöohjain on tavallisesti toteutettu rinnakkain säätöpiirin ohjauksen kanssa reagoimaan prosessissa tapahtuviin muutoksiin. Tämän vuoksi tarvitaan nopeaa mittausta prosessissa, jotta etusyötön syötönohjaus reagoi muutokseen ennen kuin se näkyy ohjaimen palautteessa. Vaikka muutos prosessissa ei aina ole mitattavissa, on silti mahdollista käyttää syöttöohjausta muutostilanteeseen vastaamisessa.



Kuva 26. Suljetun silmukan ohjausjärjestelmän toimintaperiaatekaavio. /19/

Paineensäätimillä on merkittävät mahdollisuudet moottorin käynnin parantamiseen muuttuvissa tilanteissa. Suljetussa paineensäätöpiirissä paine ohjataan tyypillisesti suljetussa tilavuudessa. Suljetussa tilavuudessa oleva paine mitataan ja käytetään takaisinkytkentänä suljetulle säätöpiirille. Tämän jälkeen ohjain asettaa virtauksen säätöventtiilin asennon muuttaen massavirran ulos suljetusta tilavuudesta. Tässä tapauksessa massavirtaus ulos suljetusta tilavuudesta voidaan nähdä prosessin häiriönä. On kuitenkin tärkeää, että järjestelmä ohjaa massavirtaa ulos suljetusta tilavuudesta, vaikka se ei olisi mitattavissa. Tätä informaatiota voidaan käyttää suoraan etusyötön syöttöohjauksessa parantaen moottorin käyntiä muutostilanteessa ilman lisämittauksia. Tämän tyypisellä syöttöohjauksella massavirtaus suljettuun tilavuuteen kompensoidaan ulospäästetyllä massavirtauksella ennen kuin mitattu paine muuttuu.



Kuva 27. Etusyötön syöttöohjaus suljetun silmukan ohjaimelle. /19/

Olosuhteista riippuen syöttöohjauksen laskennassa voidaan käyttää erityyppisiä tekijöitä, kuten esimerkiksi säätöventtiilin asennon ja ulosvirtauksen tilavuuden välistä staattista suhdetta. Syöttöohjauksen elementin uudelleen kalibroimista voidaan välttää esimerkiksi itsestään virittyvillä kartoilla, jotka seuraavat venttiilin asennon ja massavirtauksen välistä suhdetta.

Joissain tapauksissa syöttöohjain ei välttämättä laske vain yhden signaalin varaan. Tällöin ratkaisuksi soveltuu dynaamisten prosessimallien käyttö säätimen käyttäytymiseen optimaalisesti muutostilanteessa, kuten virtuaalisten häiriömittausten luomiseksi tilanteista, jotka voivat olla hyödyllisiä muutostilanteiden ohjauksissa. Tyypillinen esimerkki voisi olla ilman ja polttoaineen suhde, joka voi tarjota elintärkeää informaatiota monille järjestelmän ohjaimille, kuten esimerkiksi mukautuvalle ilman ja polttoaineen rajoittimelle, joka optimoi kaasun syöttöä sylintereille muutostilanteen aikana sovittaakseen turbon viipymää. /19, 28/

5.14 Palamisen ohjaus

Polttomoottorien tutkimuksessa ja kehityksessä käytetään laajasti sylinterin sisäistä painemittausta. Sylinterin paine kuvaa moottorin sykettä ja siitä on apua polttomoottorin suorituskyvyn kehittämisessä kohti tulevia vaatimuksia.

Sylinterin paineanturien viimeaikaisen kehityksen myötä sylinterin sisäisen paineen mittaaminen on tulossa tuotantomootoreihin, joissa voidaan käyttää uusia moottorinohjaus tapoja. Sylinterin sisäinen paine sisältää informaatiota, joka

kuvastaa palamisen käyttäytymistä (Liite 1 osa 1). Näitä monia erilaisia palautesignaaleja voidaan yhdessä oikeiden luhinta-algoritmien kanssa käyttää palamisen ohjauksessa eri tavoin. Yleisesti eniten käytetyt sylinterin painemittauksista kerätyt palamisen parametrit ovat ilmoitettu keskimääräinen tehollinen paine (IMEP, indicated mean effective pressure) ja lämmön vapautuminen (HR, heat release) (Liite 2). Kumulatiivisesta lämmön vapautumisesta on mahdollista saada arvokasta informaatiota syttymisen viiveestä, palamisajasta sekä palamistapahtumasta.

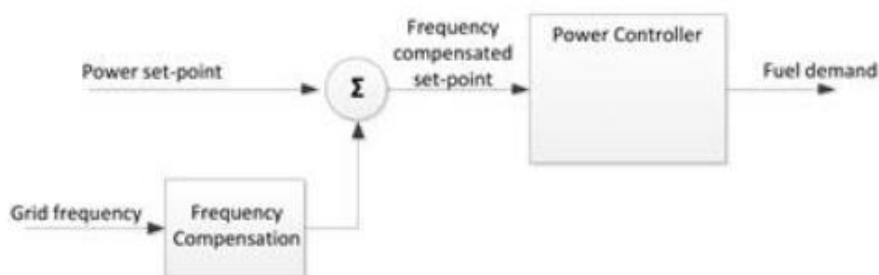
Toisen sukupolven UNIC-ohjausjärjestelmä tukee kaikkia edellämainittuja palamisparametrien laskemista, joka on keskeistä tulevaisuuden palamisen ohjauskonsepteille. Palamisen parametreista on hyötyä esimerkiksi sylinterin tasapainottamisen tutkimisessa ja kehityksessä. Järkevää palamisen ohjausta voidaan käyttää vaikka sylinterien mekaanisten erojen tasapainottamiseen. Tämä tarkoittaa, että suljetun palamisen säädöllä on potentiaalia vähentää esimerkiksi moottorin kehitykseen liittyvää kalibrointityötä. Pidemmällä tähtäimellä tämä vähentää moottorin kalibrointiin liittyvää parametrien virittämisen määrää. Sylinterin paineen mittauksista saatavilla yhä uusilla palautesignaaleilla tulee olemaan erityisen tärkeä rooli moottorin ohjaukseen liittyen. /19/

5.15 Verkkokoodi

Voimalaitosasennuksissa tarvitaan tarkkaa valvontatekniikka. Tähän sovelletaan verkkokooditekniikkaa (grid codes), joka koostuu joukosta kiinteitä vaatimuksia, jotka asetetaan primäärienergian tuottajille turvallisen toiminnan varmistamiseksi sekä mahdollisten uusiutuvien energianlähteiden turvallisen liittämisen sähköjärjestelmään. Sähköjärjestelmään primäärienergian tuottajaksi päästykseen on huolehdittava, että tuotettu sähkö on erityisen luotettavaa ja laadukasta myös muuttuvissa olosuhteissa. Verkkokoodi asettaa vaatimukset myös esimerkiksi synkronoinnin nopeuteen sekä ajalle, jonka puitteissa voimalaitoksen on saavutettava täysi kuormitus.

Voimalaitoksen nostamista täyteen kuormaan säädellään erilaisilla ohjausominaisuuksilla, kuten esimerkiksi pikakäynnistystoiminnolla.

Pikakäynnistystoiminto lyhentää moottorin käynnistysaikaa aloittamalla polttoaineen ruiskutuksen jo moottorin alhaisilla kierrosnopeuksilla. Nopea käynnistys asettaa uusia vaatimuksia esimerkiksi moottorin nopeusantureille, koska nopeuden eli kierrosluvun tunnistuksen ja nopeudentilanteen mittauksen luotettavaa tietoa tarvitaan lähes välittömästi, kun käynnistyspainiketta on käytetty.



Kuva 28. Tehonsäädin, jossa taajuuskorjauksen ohjaus. /19/

Tehonsäätimessä (Kuva 28) on taajuuskorjauksen ohjaus, jossa kaikki verkkoon liitetyt aktiiviset ensisijaiset tehonsäätimet yrittävät avustaa sekä vastata verkon taajuuden muutoksiin. Tämä taajuustukitoiminto vaatii erittäin tarkkoja nopeuslaskenta-algoritmeja voidakseen minimoida laskentakierrosten vaikutuksen. /19/

5.16 Digitalisaatio

Moottorin ohjauksen ja valvonnan lisäksi ohjausjärjestelmän tärkeänä tehtävänä on vuorovaikutus muiden aluksen tai voimalaitoksen automaatiojärjestelmässä toimivien koneiden kesken. Digitaalisten palveluiden tuella kehitetään uusia mahdollisuuksia asiakkaiden etujen ja liiketoiminnan parantamiseksi. Wärtsilä 31 -moottori sekä siihen sulautettu toisen sukupolven UNIC-järjestelmässä on suunniteltu optimaalisesti integroitavaksi yhteen aluksen tai voimalaitoksen muiden koneiden sekä digitaalisten toimintojen kanssa. /19, 29/

5.17 Integraatio

Alusten automaatiojärjestelmien kasvava monimutkaisuus, jota lisää useilta eri valmistajilta toimitetut laitteet, luo uusia tarpeita järjestelmän integraation

sujuvuudelle eri rajapintojen välille (Kuva 22) alusten valvontahuoneissa sekä ohjaussillalla.

Liitäntästandardointi sekä automaatiojärjestelmän käyttöliittymän ja toiminnallisuuden asianmukainen määrittely ovat erityisen tärkeitä seikkoja, jotta käyttöönnotossa integrointiin liittyviin haasteisiin pystytään vastaamaan. Tämä edellyttää Wärtsilän moottorinohjauksen, koneenohjauksen ja alusten ohjausliittymän kehittämisen välillä tiivistä yhteistyötä. Näin voidaan varmistaa kaikkien Wärtsilän järjestelmien integrointi sujuvasti. Lisäksi tarvitaan seurantaa ja aktiivista osallistumista käyttöliittymien standardoinnin kehittämisessä saumattoman integraation varmistamiseksi muiden toimittajien ohjausjärjestelmien kanssa.

Alusten automaatiojärjestelmien kasvava monimutkaisuus yhdessä käytettävyyšnäkökulman kanssa on suuri haaste koko meriteollisuudessa. Aluksen automaatiojärjestelmissä tapahtuva yksi häiriö, kuten esimerkiksi katkos tietoliikennepiirissä voi johtaa useisiin erilaisiin hälytyksiin erilaisista automaatiojärjestelmistä johtaen suureen määrään vikailmoituksia aluksen valvontahuoneessa. Löytääkseen hälytyslokin vikailmoitusten perusteella potentiaalisen juurisyyn ja voidakseen aloittaa ongelman todellisen vianmäärityksen, on käyttöhenkilön omattava erittäin paljon teknistä osaamista automaatiojärjestelmästä (Liite 1). Wärtsilän moottorinohjauksen, koneenohjauksen ja aluksen ohjaussillan ohjausratkaisujen yhteentoimivuus (Kuva 4) sekä lisääntynyt älykkyys kasvattavat täsmällisen tiedon keräämisen määrää, josta on huomattavasti apua vikatilanteiden havaitsemisessa sekä ongelmien juurisyiden löytämisessä. /19/

5.18 Horisontaalinen integraatio

Horisontaalinen integrointi mahdollistaa yhteisen järjestelmänohjauksen samalla tasolla toimivien koneiden ja järjestelmien kanssa. Toisen sukupolven UNIC tukee laajasti erilaisia yhteysteknologisia rajapintoja, joista eniten käytössä Modbus/TCP, CANOpen, OPC. Mahdollisuus erilaisille rajapinnoille sekä huolellisesti muotoillut toiminnot mahdollistavat erilaisten järjestelmien toimimisen yhdessä. Esimerkiksi

NOR-järjestelmän (Kuva 18) urean annostelusyöttö on optimoitu kriittisten moottorin palamisen parametrien mukaisesti. /19/

5.19 Vertikaalinen integraatio

Vertikaalinen integraatio mahdollistaa järjestelmänohjauksen yhdistämisen eri tasoille eli alusten tai voimalaitosten ohjausjärjestelmiin. Yhdistäminen aluksen tai voimalaitoksen ohjausjärjestelmään tapahtuu toisen sukupolven UNIC-järjestelmän COM/IOM-moduulien välityksellä. Tämä yhteys on tärkeässä roolissa moottorin optimaalisen suorituskyvyn kannalta. /19/

6 TULOKSET

Tuotokseen oli erittäin haastavaa löytää materiaalia, sen etsintään kului huomattavan paljon aikaa ja sitä löytyi hyvin vähän. Materiaalin vähäisyyteen vaikuttaa toisen sukupolven UNIC-automaatiojärjestelmän ja Wärtsilä 31 -moottorin uutuus. Tämän vuoksi materiaalia on dokumentoitu hyvin vähän ja löytyvä materiaali on pääosin salaista. Tästä johtuen opinnäytetyön sisältö on pintapuolinen käsittely aiheesta, mutta kuitenkin laaja.

Työn aikaisista koeajotapahtumista selkeytyi, miten ohjelmiston parametreilla on yhteys lähes kaikkiin moottorin toimintoihin sekä ohjelmiston parametrien optimoimisen vaikutus moottorin suorituskykyyn. Moottorin ohjelmistoa on haasteellista käyttää ja vianetsintä on haastavaa. Selkiytyi myös, että moottorin suorituskyvyn optimointiin ja vianetsintään tarvittavan työhjeen rakentamiseen tarvitaan huomattavasti aikaa sekä syvällisempää perehtymistä Wärtsilä 31 -moottorin ohjelmistoon. Työhjeen rakentaminen jatkuu opinnäytetyön jälkeen ja toimii täten myös jatkokehityskohteena. Tämä vaatii läsnäoloa koeajotapahtumissa sekä toisen sukupolven UNIC-automaatiojärjestelmän opiskelua.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Opinnäytetyön tarkoituksena oli syventyä Wärtsilä 31 -moottoriin sulautetun toisen sukupolven UNIC-automaatiojärjestelmän rakenteeseen, ohjaamiseen, toimintoihin ja ohjelmistoon sekä UNIC-automaatiojärjestelmän vaikutuksesta moottorin mekaanisiin ja hydraulisiin toimintoihin. Lisäksi alkuperäiseen suunnitelmaan sisältyi työohjeen saattaminen alkuun opinnäytetyön liitteeksi, jonka aiheena oli Wärtsilä 31 -moottorin ohjelmiston parametrien optimointi ja vianetsintä moottorin suorituskyvyn optimointiin. Työohjeen käyttäjäryhmänä Wärtsilän Vaasan tehtaan (DCV) koeajo-osastoilla työskentelevät sähköasentajat.

Tutkimusta aloittaessa kävi hyvin nopeasti ilmi tutkimukseen tarvittavan materiaalin löydettävyyden haastavuus. Materiaalin etsintään kului paljon aikaa ja sitä löytyi vähän. Lisäksi haastavuutta lisäsi toisen sukupolven UNIC-automaatiojärjestelmän ja Wärtsilä 31 -moottorin uutuus, joten materiaalia on hyvin vähän dokumentoitu varsinkin julkiseen käyttöön. Materiaalin löytyessä ja sitä tutkittaessa syntyi vähitellen hahmotelma tutkimuksen sisällöstä sekä käsitys sen tärkeydestä. Sisällöstä koostui lopulta eteenpäin johdatteleva, kattava ja laaja kokonaisuus. Tutkimuksessa eri asiakohdat ja asiakokonaisuudet liittyvät toisiinsa alusta loppuun muodostaen laajan käsityksen markkinatrendeistä moottorin ohjelmistoon. Tutkimustyön kirjoittaminen opetti perusasioista koskien Wärtsilä 31 -moottoria ja toisen sukupolven UNIC-automaatiojärjestelmää sekä miten ohjelmiston parametrit ovat suuressa roolissa laajassa kokonaisuudessa. Tutkimustyön sisältö soveltuu perustiedoksi ryhdyttäessä uutena henkilönä tehtäviin Wärtsilän W31 -moottorin ja toisen sukupolven UNIC-automaatiojärjestelmän parissa.

Työohje saatettiin alkuun ja sen rakentaminen jatkuu opinnäytetyön jälkeen. Tutkimustyö antoi tähän tiettyä suuntaa ja ymmärrystä. Työohjeen rakentamiseksi on oltava mukana W31-moottorin koeajotapahtumissa, keskusteltava moottorin asiantuntijoiden kanssa ja opiskeltava sekä perehdyttävä syvällisemmin toisen sukupolven UNIC-automaatiojärjestelmän ohjelmistoon.

LÄHTEET

- /1/ Tämä on Wärtsilä 2019. Viitattu 11.3.2019 https://cdn.wartsila.com/docs/default-source/investors/investors-fi/taloudellinen-aineisto/konserniesittelyt/this_is_wartsila_esite_fi.pdf?sfvrsn=7728fb44_2
- /2/ Energy trends that will run the world in 2019. Viitattu 12.3.2019 <https://www.wartsila.com/twentyfour7/energy/energy-trends-that-will-run-the-world-in-2019>
- /3/ Wärtsilä Local News. 2019. DCV:ssä on koeajettu ensimmäiset VR:n huoltosopimukseen kuuluvat moottorit. Viitattu 25.4.2019 https://wartsila.sharepoint.com/sites/compass-Finland/Finnish/Uutiset_ja_tapahtumat/Pages/dcvssä-on-koeajettu-ensimmäiset-vrn-huoltosopimukseen-kuuluvat-moottorit.aspx
- /4/ Wärtsilä UNIC engine control system for gas and dual fuel engines. 2016. Viitattu 25.3.2019 https://cdn.wartsila.com/docs/default-source/service-catalogue-files/electrical-automation-services/wartsila-unic-engine-control-system-for-gas-and-dual-fuel-engines.pdf?sfvrsn=94571e45_8
- /5/ Generators for diesel and gas engines. Viitattu 25.3.2019 <https://new.abb.com/motors-generators/generators/generators-for-diesel-and-gas-engines>
- /6/ Wärtsilä 34 DF Engine generating set. Viitattu 27.3.2019 http://cdn.wartsila.com/docs/default-source/Power-Plants-documents/downloads/product-leaflets/w34df_leaflet.pdf
- /7/ Taajuusmuuttajien rakenne, mitoitus ja säätö generaattorikäytöissä. 2009. Viitattu 28.3.2019 <https://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2009/TAMU-loppuraportti.pdf>
- /8/ Code of Practice for the Safe Operaton of Electric Steam Boilers. Viitattu 28.3.2019 <https://www.labour.gov.hk/eng/public/bpvd/boiler.pdf>
- /9/ W32 W34 Koeajojen toimintaohje. Word-dokumentti. Saatavissa Wärtsilän sisäisessä verkossa. Viitattu 29.3.2019
- /10/ Bolton, William. 2006. *Programmable Logic Controllers*. 4. painos. Oxford. Burling-ton Newnes. Viitattu 29.3.2019
- /11/ Ohjelmoitava logiikka. 2019. Viitattu 29.3.2019 https://fi.wikipedia.org/wiki/Ohjelmoitava_logiikka
- /12/ Wärtsilä Finland Oy. 2016. WOIS User's Manual. Viitattu 1.4.2019. Saatavissa Wärtsilän sisäisessä verkossa.

- /13/ Indusoft-ohjelman päänäkymä. Viitattu 1.4.2019. Saatavissa Wärtsilän sisäisessä verkossa.
- /14/ Indusoft periaatekaavio. Viitattu 2.4.2019. Saatavissa Wärtsilän sisäisessä verkossa.
- /15/ The new Wärtsilä 31 engine. Viitattu 4.4.2019. <https://www.wartsila.com/twentyfour7/in-detail/the-new-wartsila-31-engine>
- /16/ Wärtsilä 31 – maailman tehokkain moottori. Viitattu 5.4.2019. <https://www.wartsila.com/fi/suomi-100/teknologia/wartsila-31-maailman-tehokkain-moottori>
- /17/ Selective Catalytic Reduction (SCR). Viitattu 9.4.2019. [https://www.wartsila.com/encyclopedia/term/selective-catalytic-reduction-\(scr\)](https://www.wartsila.com/encyclopedia/term/selective-catalytic-reduction-(scr))
- /18/ Wärtsilä NOx Reducer (NOR). Viitattu 10.4.2019. <https://www.wartsila.com/products/marine-oil-gas/exhaust-gas-cleaning/nox-abatement/wartsila-nox-reducer-nor>
- /19/ Next generation UNIC automation system enables Wärtsilä 31 performance. Viitattu 16.4.2019. <https://www.wartsila.com/twentyfour7/in-detail/next-generation-unic-automation-system-enables-wartsila-31-performance>
- /20/ Åkerman J., Hultqvist A. 2012. Large engine automation, today and tomorrow. MTZ Conference 2012. Viitattu 16.4.2019
- /21/ UNIC system description W31DF. PDF-dokumentti. Viitattu 17.4. Saatavissa Wärtsilän sisäisessä verkossa.
- /22/ Bartels B., Ermel U., Sandborn P. 2012. Mitigation and Management of Product Obsolescence. ISBN: 978-1-118-14064-2. Viitattu 19.4.2019.
- /23/ Gu J., Pecht M. 2007. Predicting the Reliability of Electronic Products. ICEPT 2007 Obsolescence. Viitattu 20.4.2019
- /24/ Tamminen J. 2016. Front -loaded R&D process for high quality – development case Wärtsilä 31. CIMAC congress 2016, paper no 100. Viitattu 22.4.2019
- /25/ Hobbs G. K. 2000. Accelerated Reliability Engineering: HALT and HASS. ISBN-13: 978-0471979661. Wiley 2000. Viitattu 22.4.2019
- /26/ Östman F., Rösgren J., Kaast T. 2016. Securing engine performance and safety through fault diagnostics. CIMAC Congress 2016, paper no 118. Viitattu 24.4.2019
- /27/ Åström K.J., Wittenmark B. 1997. Computer-controlled systems: Theory and design. Prentice Hall. Inc 1997. Viitattu 25.4.2019
- /28/ Åström K., Häglund T. 1995. PID Controllers: Theory, Design and Tuning. ISA 1995. Viitattu 26.4.2019

/29/ Wärtsilä Genius Services. Viitattu 3.5.2019.
<https://www.wartsila.com/services/areas-of-expertise/wartsila-genius-services>

/30/ IP-luokitus. Viitattu 7.5.2019 <https://stek.fi/perustietoa-sahkosta/sahkojarjestelmat/ip-luokitus/>

/31/ Kuljetukset ja ympäristö 2013. Viitattu 15.5.2019
https://www.utu.fi/fi/yksikot/mkk/spc/Documents/Ymparistoosite_2013.pdf

LIITE 1 (SALAINEN)

LIITE 2 (SALAINEN)

