

Opinnäytetyö (AMK)

Koneinsinööri

2023

Väinö Leimu

**OPEROINTIDATAN  
SAATAVUUS JA  
HYÖDYNTÄMINEN  
OPEROINNIN OPTIMOINNISSA**

– Suomalaiset lastialukset



Opinnäytetyö (AMK) | Tiivistelmä

Turun ammattikorkeakoulu

Koneinsinööri

2023 | 38 sivua

Väinö Leimu

## Operointidatan saatavuus ja hyödyntäminen operoinnin optimoinnissa

- Suomalaiset lastialukset

Hyvin kilpailtu merenkulkuala edellyttää toimijoiltaan entistä tehokkaampaa operointia. Keinoja toiminnan tehostamiseen voidaan hakea muun muassa huoltotoiminnan tai energiatehokkuuden optimoinnista. Mitattuun tietoon perustuva optimointitoimien tehostaminen ja faktapohjainen tarkastelu kasvattavat suosiotaan.

Työssä perehdytään laivoilta saatavaan operointidataan ja sen hyödyntämisen keinoihin. Haastattelemalla varustamohenkilöstöä, tutkitaan sekä Suomalaisten lastialusten valmiuksia tuottaa mitattua tietoa että kerätyn tiedon hyödyntämistä operoinnin optimoinnissa nykytilanteessa. Tutkimuksessa todettiin operoinnin optimoinnin olevan varustamoissa aktiivinen kehityskohde, mutta kerättyä mittaustietoa ja viimeisimpiä työkaluja hyödynnettiin vielä niukasti.

Tavoiteltu kuvaus Suomalaisten lastialusten tiedonkeruusta ja sen hyödyntämisestä toteutui alusmäärältään suurimman yksittäisen alusluokan osalta. Koko aktiivisen Suomalaisen kauppalaivaston ja kehitteillä olevien uudisrakenteiden osalta aiheen tutkimista tulisi vielä jatkaa laajemman tilannekuvan aikaansaamiseksi.

Asiasanat:

merenkulku, merikuljetus, meriliikenne, kauppamerenkulku, operaatioanalyysi, mittaustekniikka

Bachelor's Thesis | Abstract

Turku University of Applied Sciences

Mechanical Engineering

2023 | 38

Väinö Leimu

## Availability and utilisation of operational data

- Finnish cargo vessels

Seafaring as a highly competitive area of global trade requires efficiency and optimisation from its operators. Cost savings can be achieved for example by optimising maintenance or energy efficiency. Interest for means to measure and evaluate made choices is increasing as is the need of fact-based support for decision making during daily operations onboard and in shore organisations.

This thesis work contains a literature review of what kind of operational data is available on commercial vessels and how can it be utilised in optimising operations. Furthermore, the readiness of the Finnish cargo vessels to produce data and how the data is utilised today were studied by interviewing personnel in shipping companies. It was found out that optimising operations is an area of high interest, but utilising measured data with the latest methods is not too common.

The overview of data availability and utilisation on the most common ship type of Finnish commercial fleet – general cargo vessels – was achieved successfully. Studies should be continued to cover the whole commercial fleet and newbuilding projects under the Finnish flag.

Keywords:

sea transport, merchant shipping, operation analysis

# Sisältö

<b>Käytetyt lyhenteet tai sanasto</b>	<b>7</b>
<b>1 Johdanto</b>	<b>8</b>
1.1 Toimeksiantaja	9
1.2 Rajaus	9
<b>2 Operointidata</b>	<b>10</b>
2.1 Tiedonkeruu ja säilöminen	10
2.1.1 Vaatimukset	11
2.2 Tietolähteet	11
2.2.1 Propulsiokoneisto	13
2.2.2 Koneiston oheisjärjestelmät	13
2.2.3 Laivan runko	14
2.2.4 Navigointijärjestelmät ja VDR	14
2.2.5 Muut tietolähteet	15
2.3 Tiedonsiirto ja -käsittely	16
2.3.1 Tiedonsiirtoverkot	16
2.3.2 Liitännärajapinnat	19
2.3.3 Datat käsittely ja analysointi	19
2.3.4 Automatisoidun tietojenkäsittelyn riskit	20
<b>3 Operointidatan hyödyntäminen</b>	<b>22</b>
3.1 Statistiset menetelmät ja koneoppiminen	22
3.2 Digital twin ja simulaatiot	23
3.3 Energiatohokkuus	24
3.3.1 Kaupalliset valinnat	25
3.3.2 Reitti- ja nopeusoptimointi	26
3.3.3 Kellumisasento	28
3.3.4 Rungon ja potkurin kasvuston vaikutus	28
3.4 Huollon optimointi	29
3.4.1 Kunnonvalvonta ja tarveperusteinen huolto	29

3.4.2 Esimerkkejä mittausdatan hyödyntämisestä	30
3.4.3 Tapahtumalokit	32
3.4.4 Lisätty todellisuus huoltojen tukena	32
3.5 Kerätty tieto suunnittelun tukena	33
<b>4 Suomalaiset lastialukset ja tiedonkeruu</b>	<b>34</b>
4.1 Alusten varustelutaso	35
4.1.1 Koneisto	36
4.1.2 Automaatiojärjestelmät	36
4.2 Kerättävä operointidata	37
4.2.1 Kerättävä tieto	37
4.2.2 Maaorganisaatiolle välitettävä operointidata	38
4.3 Kerätyn datan hyödyntäminen	39
4.3.1 Ohjelmistot operoinnin tukena	39
4.3.2 Huoltotarve-ennakointi	40
4.3.3 Kulutusennakointi	40
4.3.4 Energiaoptimointi	41
4.4 Kehityssuunnat	41
4.4.1 Kuntoanalytiikka ja Digital twin	42
4.4.2 Dokumentaatio	42
4.4.3 Varastohallinta ja inventaariot	43
<b>5 Pohdintaa</b>	<b>44</b>
5.1 Huomioita	44
5.1.1 Tiedonkeruun yhtenäistäminen yrityksissä	44
5.1.2 Uudisrakennelaivan varustelu tulevaisuuden tarpeisiin	44
5.1.3 Operatiiviset valinnat energiatehokkuuden ympärillä	45
5.2 Lopuksi	46
<b>Lähteet</b>	<b>47</b>

## Liitteet

Liite 1. Esimerkkisivu mittautiedon listauksesta

Liite 2. Aiheista maaorganisaatioille

Liite 3. Aiheista alushenkilöstölle.

## Kuvat

Kuva 1 - Automaatiojärjestelmän periaatekaavio (Emerson, 2017) .....	17
Kuva 2. Tyypillinen tiedonkeruu ja -siirto järjestelmä (DNV-GL, 2020).....	18
Kuva 3. Liikennetiheys itämerellä (Vesselfinder, 2021).....	26
Kuva 4. Aluksien lukumäärä alustyyppin ja kokoluokan mukaan (Suomen virallinen tilasto (SVT), 2022).....	35

## Käytetyt lyhenteet tai sanasto

AIS	Automatic Identification System – Alusten ja maasemien välillä toimiva tunnistus- ja tiedonjakojärjestelmä
API	Application program interface – Ohjelmointirajapinta, jolla voidaan yhdistää ohjelmistojen toiminnallisuuksia
CBM	Condition Based Maintenance – Kuntoon perustuva huollon ajoitus
CM	Condition Monitoring – Laitteiston kunnon seuranta
ECDIS	Electronic chart display and information system – Elektroninen karttalaite
ETA	Estimated time of arrival – Arvioitu saapumisaika
HVAC	Heating ventilation and air conditioning
IAS	Integrated automation system – integroitu automaatiojärjestelmä
ISM	International Safety Management Code – Kansainvälinen turvallisuusjohtamissäännöstö
MS Excel	Microsoft Excel taulukkolaskentaohjelmisto
VDR	Voyage Data Recorder – Matkatalennin

# 1 Johdanto

Merikuljetukset ovat hyvin kilpailtu kansainvälisen kaupan ja logistiikan osa. Kilpailukyvyyn parantamiseksi laivanvarustajat ja operaattorit etsivät keinoja minimoida kuluja ja tehostaa kuljetussuoritetta. Informaatioteknologian eksponentiaalinen kehitys luo nopeasti uusia sovelluksia, joita voidaan hyödyntää myös alustoiminnan tarkastelussa ja kehityksessä. Suomessa merenkulun kustannukset ovat korkeat sekä materiaali että henkilöstökulujen vuoksi. Alati pienenevä suomalainen kauppalaivasto kielii kilpailukyvyyn heikentymisestä kansainvälisellä tasolla. Valtion tukitoimet, korkeatasoinen teknologiakehitys ja toiminnan tehokkuus saattavat olla avainasemassa suomalaisen merenkulun ja huoltovarmuuden ylläpitämisessä.

Opinnäytetyön tavoitteena on selvittää tyypillisten suomalaisten rahtilaivojen mahdollisuutta operointidatan keruuseen ja sen hyödyntämiseen operoinnin optimointitarkoituksissa, niin taloudellisten, kuin ympäristöteknisten suoritusarvojen parantamiseksi. Alusten operoinnin kulujen minimointi on pitkään jäänyt aluksen suunnittelun, rahtaajan ajojärjestelyn ja merimiesten oman harkinnan varaan. Kasvavassa määrin halutaan luoda järjestelmiä, joilla saadaan faktapohjaista tietoa päätöksenteon tueksi ja tehtyjen toimien vaikutusten arvioimiseksi operoinnissa.

Työn luvut 2 ja 3 ovat katsaus alan julkaisuihin. Niissä selvitetään millaista operointidataa, miten ja mistä sitä kerätään tai voidaan kerätä. Tiedonkeruuta ja sen tallentamista koskevat vaatimukset tarjoavat kehyksen operointidatan vähimmäismäärälle, joka jokaisella aluksella tulisi muodostaa ja tallentaa. Kirjallisuusosassa käsitellään myös tyypillisiä operoinnin optimoinnin metodeja ja niiden edellyttämää operointidataa. Lähteinä on käytetty meritekniikan alan aikakauslehtien julkaisemia artikkeleita, kansallisia ja kansainvälisiä säädöksiä, sekä ohjelmisto- ja laitevalmistajien tuote-esittelyjä.

Luvussa 4 esitetään Suomalaisiin rahtialuksiin kohdistetun tutkimuksen tuloksia niille tyypillisestä laitteistosta, laitteiston instrumentoinnista ja automaation tasosta. Lisäksi tutkittiin operointidatan hyödyntämisen tasoa kyseisen



laivatyyppien operoinnin optimoinnissa nykytilanteessa, sekä merenkulkualan ammattilaisten näkemyksiä lähitulevaisuuden kehitystarpeista.

### 1.1 Toimeksiantaja

Työn toimeksiantaja on muun muassa laivasuunnitteluun erikoistunut konsulttiyhtiö, joka työllistää noin 1000–1500 henkilöä. Yhtiössä on asetettu tavoitteeksi luoda ohjelmisto, jolla tarjotaan entistä tehokkaammat työkalut merenkulun toimijoille operoinnin optimoimiseksi niin merenkulun, kuin huoltotoiminnankin osalta. Toimeksianto tehtiin, jotta saataisiin parempi kuva alusten tyypillisestä instrumentoinnin tasosta, saatavilla olevasta operointidatasta, sekä sen hyödyntämisen nykytilanteesta yhtiön kohdeasiakkaille tyypillisellä aluskalustolla. Tutkimuksen perusteella voidaan paremmin arvioida alusten valmiuksia ja laitteistoasennustarpeita kehitettävän ohjelmiston edellyttämän tiedonkeruun kannalta.

### 1.2 Rajaus

Opinnäytetyössä tiedonkeruun ja sen hyödyntämisen tekniikoita esitellään yleiskuvan luomiseksi aluksilla tapahtuvasta ja mahdollisesta operointitietojen saatavuudesta ja hyödyntämisestä. Opinnäytetyön laajuuden rajaamiseksi tiedonkeruu, -siirto ja -käsittelymetodeihin ei perehdytä erityisen syvällisesti, sillä näistä informaatioteknologian aiheista on saatavilla runsaasti ajantasaista tietoa muissa lähteissä.

Toimeksiantajan kehittämän ohjelmiston kaltaisia optimointi- ja toiminnanohjausohjelmistoja on markkinoilla. Näihin vastaaviin ohjelmistoihin tai niiden toimintatapoihin ei tutkimuksessa perehdytä.

## 2 Operointidata

Alusten operointia voidaan tarkastella useilla eri mittareilla. Varustamon kirjanpidosta johdettavat taloudelliset mittarit, aluksen instrumentoinnilla saavutettava mittaustieto, ulkopuolisista lähteistä saatava tai käsin syötettävä tieto tarjoavat kaikki vertailukelpoista ja arvokasta dataa, jolla operoinnin tehokkuutta voidaan tarkastella. Tässä työssä keskitytään tietoon, jonka avulla voidaan optimoida aluksen kulkua, sekä huoltotoimintaa.

### 2.1 Tiedonkeruu ja säilöminen

Operoinnin seurannan ja sen optimoinnin kannalta olennaista on luotettavan, tarkan ja säännöllisen tiedon saatavuus. Tietoa voidaan kerätä käsin tai automaattisesti. Esimerkki käsin kerättävästä tiedosta on analogisen mittarin lukeminen ja kirjaus paperille. Käsin tapahtuva tiedonkeruu on aluksen miehistön ja muiden aluksen toimintaan liittyvien henkilöiden vastuulla. Kerätty tieto voidaan tallentaa esimerkiksi toiminnanohjausjärjestelmään tai perinteisesti fyysisessä muodossa aluksen päiväkirjaan tai vastaaviin dokumentteihin. Ongelmina käsin tuotettavassa tiedossa ovat henkilöiden vaihtelevat kirjaustavat ja tarkkuudet, jotka saattavat vaikuttaa tiedon hyödyntämisen mahdollisuuksiin.

Laitteistojen kehittymisen ja laajentumisen seurauksena, niiden tarkastelussa on tehokkaampaa käyttää apuna automatisoituja tiedonkeruumenetelmiä. Modernit laitteet tuottavat enenevässä määrin mittaustietoa normaalin operoinnin ja vianhaun tueksi. Mittaustietoa säilytetään kuitenkin aluksella usein vain päiviä tai viikkoja. Osaa näistä tiedoista voitaisiin hyödyntää älykkäässä kunnonvalvonnassa. Tämä edellyttää tiedon pitkäaikaista tallennusta usein laivan ulkopuolisille palvelimille, jolloin voidaan muodostaa pitkän aikavälin historia kehittyvien huoltotarpeiden tunnistamiseksi. Lisäksi saatetaan tarvita laitekohtaisia lisämittauksia, joita normaali operointi ei välttämättä edellytä. (Rijsdijk, et al., 2020)

### 2.1.1 Vaatimukset

Sekä kansainvälinen merenkulkujärjestö IMO että luokituslaitokset ja lippuvaltiot edellyttävät vesikulkuneuvoilta määrättyjen tietojen keräämistä ja tallentamista. Aluksen päiväkirjat, tarkastustodistukset ja huoltosuunnitelman seuranta ovat esimerkkejä aluksilta edellytetyistä toimista, joilla tallennetaan tietoa aluksen toiminnasta ja kunnosta. Aluksen päiväkirjoja ovat laiva-, radio-, kone-, öljy-, jäte-, painolasti- ja lastipäiväkirjat. Laivapäiväkirjaan kirjataan tietoja aluksen tapahtumista kaikkina aikoina, sekä sellaiset tiedot, jotka voivat olla kyseisen alustoiminnan osallisten oikeuksien kannalta merkittäviä. Konepäiväkirjaan puolestaan merkitään tiedot koneiston käytöstä, polttoaineiden ja muiden käyttötarpeiden varastoista, sekä koneistolle tehdyistä huolloista ja havainnoista. (Merilaki, 23.11.2018/991 18:4)

Digitalisaatio on tuonut mukanaan mahdollisuuden elektroniseen tiedontallennukseen ja päiväkirjojen pitoon perinteisten paperisten kirjojen sijaan, jolloin osa tiedonkeruusta voidaan automatisoida. Myös automaattiset matkatallentimet ovat tulleet pakollisiksi varusteiksi kansainvälisen liikenteen aluksilla.

### 2.2 Tietolähteet

Laivoissa olevia lukuisia järjestelmiä valvotaan, jotta varmistutaan aluksen toimintakyvyn ylläpidosta ja voidaan ennakoida huoltotarvetta. Viime aikoina tapahtunut mittausmekaniikan kehitys, sekä markkinoille tulleet mittausjärjestelmät tarjoavat entistä paremmat mahdollisuudet reaaliaikaiseen, tarkkaan ja korkearesoluutioiseen tiedonkeruuseen. Tämä mahdollistaa entistä tehokkaamman aluksen suorituskyvyn tarkastelun ja operoinnin optimoinnin. (Liu, et al., 2020) Alusta koskevat määräykset määrittelevät pakolliset mittaustiedot perustuen aluksen varustelutasoon. Alusten instrumentointi seuranta- tai datankeruutarkoituksiin riippuu suuresti alustyyppistä, operointiprofiilista, sekä varustajan valinnoista. Useat laivan järjestelmät tulevat kokonaistoimituksina aluksiin ja ovat näin valmiiksi instrumentoituja niiden

toiminnallisten tarpeiden mukaisesti. Instrumentointia voidaan kuitenkin laajentaa tilaajan tarpeiden mukaisesti ja yhdistää osaksi laivan IAS – järjestelmää. (Lehto, 2014) Nykyaikaisessa aluksen automaatiojärjestelmässä saattaa olla tuhansia IO pisteitä, jotka tuottavat tietoa aluksen tilasta automaatiojärjestelmille (Matikka, 2021). Sensoritekniikan kehitys ja miniatyrisaatio luovat entistä pienempiä antureita, joihin voidaan integroida tiedon esikäsittelyä suorittava mikroprosessori. Anturit voivat olla energiaomavaraisia käyttöympäristöstään riippuen ja langattomia. Tämä mahdollistaa edullisemmän kaapeloinnin lisäksi anturin integroinnin liikkuvaan laitteeseen, kuten laakeriin. Näin esimerkiksi laakerin lämpötilaa, kuormitusta, värähtelyä tai voiteluominaisuuksia voidaan tarkastella laakerin sisältä. (Lindholm, 2016, pp. 18-20)

Operoinnin analysointikäyttöön rakennetuista järjestelmistä yksinkertaisimmat keräävät tietoa merenkulullisista muuttujista, kuten nopeudesta, suunnasta ja keulasuunnasta. Kattavammissa järjestelmissä seurataan muun muassa sääolosuhteita, polttoaineenkulutusta, potkurin vääntömomenttia, kierrosnopeutta ja työntöä, laivan liikehdintää, peräsimen liikkeitä, värinää rungossa ja koneistoissa jne. (Dalheim & Steen, 2020) Mittausarvot voivat olla binäärinen päällä/pois tieto tai määritellyltä vaihteluväliltä oleva numeraalinen arvo. Lisäksi datapisteeseen liitetään metadataa, kuten aikaleima, mittauslähde, tiedon pakkausmetodi jne. (DNV-GL, 2020)

Aluksen instrumentoinnin laajuus ja laatu on avainasemassa tiedon hyödyntämisen kannalta. Mikäli analyysiin tarvittavista tiedoista kerätään vain 90 %, saattaa tieto olla käytettävyydeltään vain 10 % verrattuna tapaukseen, jossa kaikki tarpeellinen tieto on saatavilla. Myös tiedon riittävä tarkkuus ja säännöllisyys vaikuttavat vastaavalla tavalla sen käytettävyyteen. Mittaustietojen tarkkuuteen vaikuttaa myös niitä välittävän kaistan leveys (bandwidth), aikasykronointi ja tietoja käsittelevien servereiden kapasiteetti. (DNV-GL, 2020)

### 2.2.1 Propulsiokoneisto

Propulsiokoneisto koostuu sekä aluksen kulkemiseen tarvittavan voiman tuottavista koneista että voiman potkureille välittävistä laitteista ja näihin liitettyinä olevista ohjaus- valvonta ja suojalaitteista (Wärtsilä, 2022a). Yleisiä propulsiokoneiston komponentteja ovat dieselmoottori, alennusvaihe, potkuriakseli ja potkurin säätölaitteet. Laitteiston virheetön toiminta on olennaisen tärkeää aluksen turvallisen kulun varmistamiseksi.

Operoinnin optimoinnin kannalta olennaista tietoa saadaan mittaamalla dieselkoneiden polttoaineenkulutusta, sylinteripaineita, sekä potkuriakselilla välitettävää vääntömomenttia yhdistettynä tavallisimpiin dieselkoneen mittauksiin, kuten kierrosnopeuteen (ABB, 2022a). Kasvavassa määrin kiinnostusta ovat herättäneet dieselkoneiden komponenttien tiedot, joilla voidaan ennakoida moottoreiden huoltotarvetta. Esimerkiksi tärinä, sylinteripaine, suorituskyky ja akustiset mittaukset, sekä öljyanalyysit. (Gkerekos, et al., 2016) Lämpötilamittauksilla ja öljyanalyyseillä voidaan tarkastella myös vaihteiden ja laakereiden kuntoa (Anias, 2022). Moottorin pakokaasumittauksilla voidaan valvoa että alus täyttää päästö määräykset kulkemallaan merialueella. Nykyisin mitattavia kaasuja ovat esimerkiksi typpi- ja rikkioksidit, sekä hiilidioksidi. (ABB, 2022b)

### 2.2.2 Koneiston oheisjärjestelmät

Koneiston oheisjärjestelmät, kuten polttoaineensyöttölaitteet tai jäähdytysjärjestelmä, tekevät erilaisia valmistelevia töitä muille laitteille. Koneistojärjestelmiä ovat myös järjestelmät, jotka hoitavat omaa tehtäväänsä. Esimerkiksi HVAC-järjestelmät, jotka ylläpitävät ilmanlaatua aluksen sisätiloissa tai painolastiveden käsittelyn suorittava järjestelmä. Koneistojärjestelmiin kuuluu lukuisia sähkömoottoreita, pumppuja, venttiileitä, lämmönvaihtimia, putkistoja, hydraulikkaa yms.

Sähkömoottoreiden kuntoa voidaan seurata mittaamalla värinää, sähkönkulutusta ja laakereiden lämpötilaa. Pumppujen toimintaa voidaan seurata värinän lisäksi paine-, virtaus- ja akustisilla mittauksilla. (Gkerekos, et al., 2016) (Raptodimos, et al., 2016) Lämmönvaihtimista mitattaviin tietoihin kuuluvat lämpötilat ja paine-erot lämmönvaihtimen eri osissa (Rijsdijk, et al., 2020). Venttiilit tarjoavat tilatiedon, joka ilmaisee venttiilin asennon. Yksinkertaisimmillaan tilatieto on kiinni tai auki kaksiasentoisessa venttiilissä. Säätoventtiilissä tilatieto saattaa sisältää venttiilin avausasteen.

### 2.2.3 Laivan runko

Runkoon tehdyt korjaukset, pintakäsittelyt, säännölliset tarkastukset ja mittaukset kirjataan. Meriympäristössä tyypilliseen teräsrunkoon kohdistuva korroosiovaikutus on voimakas ja lisäksi aluksen runkoon kohdistuvat rasitukset aiheuttavat materiaalin väsymistä, jonka seuraukset voivat olla äärimmäiset. Korroosio on usein visuaalisesti havaittavissa ja rakenteiden ja levykenttien teräspaksuus voidaan mitata muun muassa ultraäänellä. Väsymisen aiheuttamien vaurioiden havaitseminen on puolestaan vaikeampaa. Tarkastukset telakoinnin yhteydessä saattavat sisältää magneettijauhetarkastuksia säröjen ja murtumien havaitsemiseksi. Aluksen elinkaaren aikana rungon kunto tarkastetaan luokituslaitoksen toimesta säännöllisin väliajoin telakoinnin yhteydessä. Tarkastusten ja havaintojen lisäksi runkoon voidaan asentaa erilaisia antureita, joilla mitataan muun muassa kiihtyvyyksiä, kallistuskulmia, jännityksiä, taipumaa ja kiertymää. (Raptodimos, et al., 2016)

### 2.2.4 Navigointijärjestelmät ja VDR

Vuoden 2018 jälkeen lähes kaikissa kansainvälisen liikenteen aluksissa on oltava elektroninen karttajärjestelmä ECDIS aluksen kulusta vastaavan perämiehen tukena. (International Maritime Organization, IMO, 2020) ECDIS tarjoaa tietoa aluksen sijainnista, suunnasta ja nopeudesta. Järjestelmä

varoittaa merikarttoihin merkityistä riskitekijöistä ja yhdistettynä muihin laitteisiin, kuten tutkaan, tarjoavat mahdollisuudet paremman tilannekuvan luomiseen. (International Maritime Organization, IMO, 1995) Tämän päivän integroidut navigointijärjestelmät tarjoavat ja keräävät lukuisia tietoja karttajärjestelmästä vaadittujen tietojen lisäksi ja laitteistot ovat laajennettavissa tarpeen mukaan.

Kaikissa bruttovetoisuudeltaan yli 3000 tonnin lastialuksissa ja kaikissa matkustaja-aluksissa tulee olla matkatalennin (VDR), joka on kuin aluksen musta laatikko ja auttaa mahdollisessa onnettomuustapauksessa selvittämään tapahtumien syitä. VDR on yhdistetty aluksen navigointi-, valvonta- ja automaatiojärjestelmiin ja se tallentaa laajasti tietoja aluksen tilasta.

Tallennettavat tiedot sisältävät aluksen sijainnin, nopeuden ja kulkusuunnan lisäksi kuvatallenteet aluksen ECDIS- ja tutkaruuduilta, AIS tallenteet, äänitallenteet komentosillalta, koneiston operointikäskyt ja tilaindikoinnin, hälytystiedot, sekä muita tietoja, joita voidaan pitää hyödyllisinä mahdollisen onnettomuuden jälkiselvityksessä. (International Maritime Organization, IMO, 2012) VDR-järjestelmän hyödyntäminen operoinnin seurannassa onkin yksinkertainen ja kustannustehokas tapa hyödyntää suuri määrä valmiiksi tuotettuja operointitietoja (Danelec, 2022).

### 2.2.5 Muut tietolähteet

Osaa olennaisista tiedoista ei saada riittävällä tarkkuudella alukselta, tai sen mittaamiseen tarvittavaa laitteistoa ei ole kannattavaa alukselle asentaa. Esimerkiksi tiedot säätilasta on kannattavaa tuoda luotettavista ulkoisista lähteistä, kuten kaupallisilta sääpalveluilta. Sääpalveluiden tieto perustuu mittauksiin, eikä esimerkiksi alushenkilöstön kokemuspohjaiseen arvioon aallonkorkeudesta. (Li, et al., 2022)

Olennaista operoinnin analysoinnin kannalta ovat myös manuaalisesti syötettävät havainnot. Tällaisia ovat esimerkiksi tiedot tehdyistä huoltotoimista ja niiden vaatimista resursseista tai havainnot aluksen ja sen laitteiden kunnosta. Operointiin ja huoltotoimenpiteisiin liittyvät tiedot ovat olennaisia, jotta

voidaan liittää mittausarvoissa havaitut muutokset tehtyihin töihin ja toimenpiteisiin ja näin varmistua oikeista johtopäätöksistä. Käsin syötettävään tietoon liittyy aina suuri inhimillinen epävarmuustekijä. Kirjausten tulee olla yhteneviä, jotta jälkitarkastelu on mahdollista luotettavasti. (Rijsdijk, et al., 2020)

### 2.3 Tiedonsiirto ja -käsittely

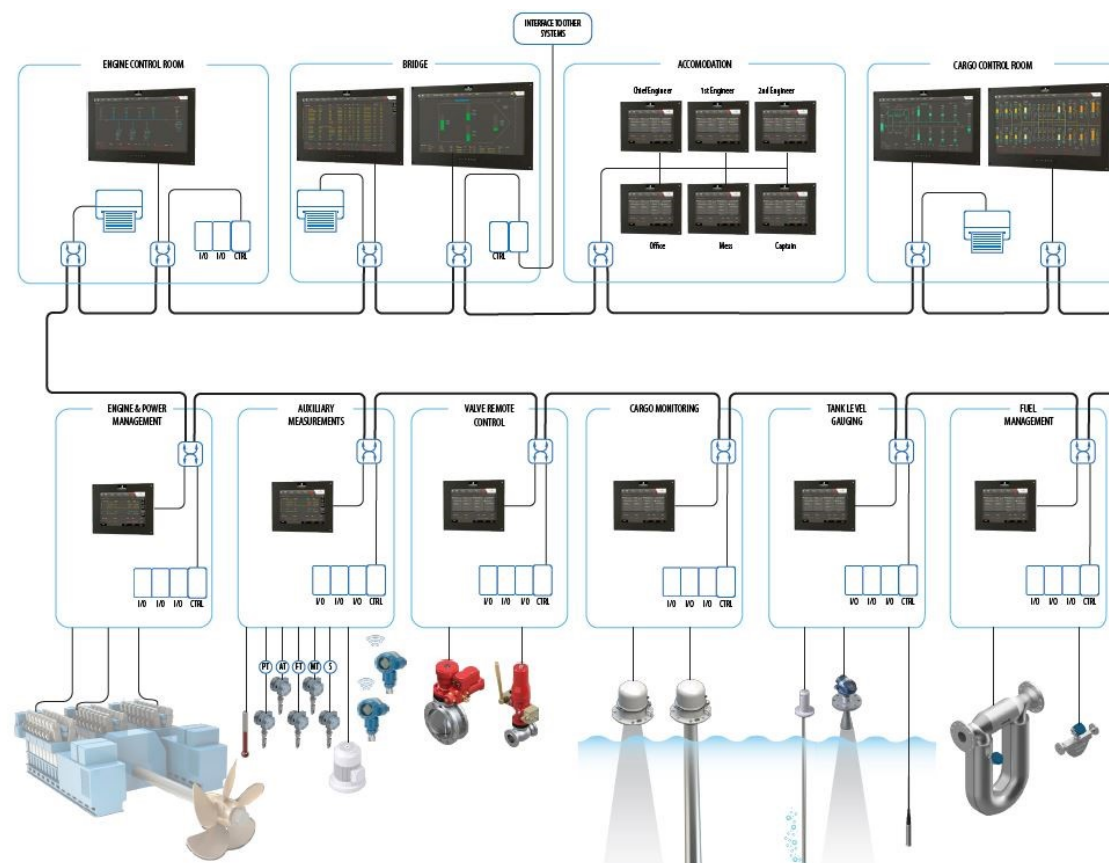
Teknologian kehitys mahdollistaa jatkuvasti aiempaa laajemman tiedon saatavuuden, säilömisen ja käsittelyn. Merenkulussa haasteita ovat luoneet hitaat, kalliit ja epävarmat siirtoyhteydet aluksen ulkopuolelle, meriympäristön fyysisesti haastavat ominaisuudet, sekä korkean riskin edellyttämä korkea laitteiston toimintavarmuus. (Lindholm, 2016, p. 7)

Olennaista tarkalle ja luotettavalle tiedonkäsittelylle on, että koko järjestelmässä olevat tiedon pakkaustavat, aikasynkronointi, tietolähteiden verkko-osoitteet jne. ovat yhdenmukaiset ja hallitut. Näin vältetään tarkan mittaustiedon mitätöimiseltä siirtohäviöillä tai virheellisellä käsittelyllä. (DNV-GL, 2020)

#### 2.3.1 Tiedonsiirtoverkot

Laitteiston instrumentoinnin tuottamaa dataa hyödynnetään laivan automaatiojärjestelmässä. Anturit ja kytkimet vaativat kukin oman kaapelivetonsa. Kaapeloinnin yksinkertaistamiseksi mittauspisteet ovat liitettyinä kootusti I/O kaappeihin, yleensä laitekohtaisesti. I/O kaapeissa analoginen tai binäärinen anturitieto muunnetaan ja välitetään redundantisessa kahdennetussa väylässä automaatiojärjestelmälle. (Lehto, 2014) Jotkin mittalaitteet kykenevät tekemään analogisen mittaussignaalin muutoksen digitaaliseksi ja ovat yhdistettynä I/O kaappeihin digitaalisin yhteyksin. Kuvassa 1 on esitetty tyypillinen tiedonsiirtojärjestelmä, jossa anturit ja toimilaitteet ovat liitettyinä kenttälaitteisiin. Kentältä tiedonsiirto tapahtuu kahdennetussa väylässä valvonta ja operointipäätteille.



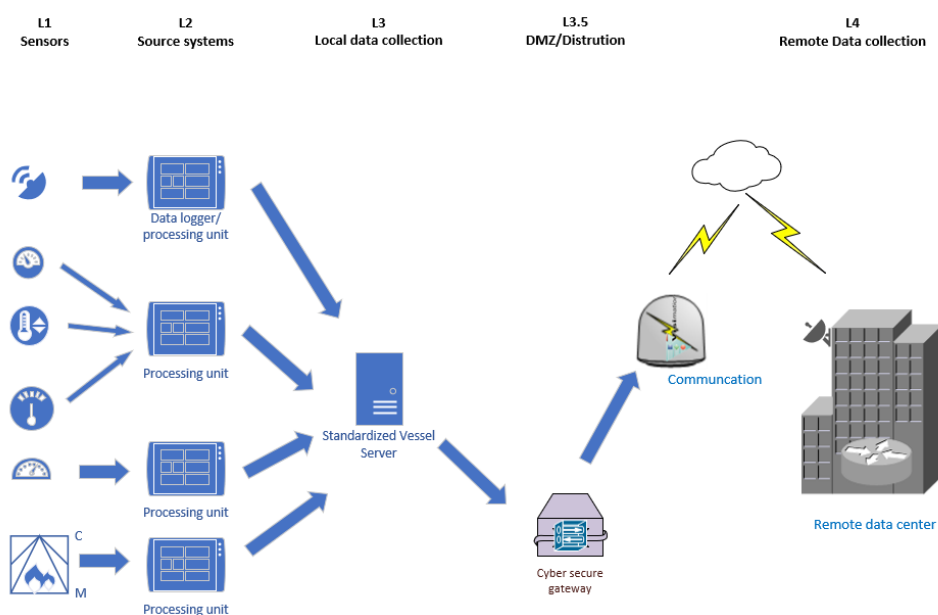


Kuva 1 - Automaatiojärjestelmän periaatekaavio (Emerson, 2017)

Tiedonsiirtoväylät koneistoautomaatiossa ovat teollisuudessa käytettyjä, kuten RS-485 sarjaliikenneprotokolla Modbus eri versioineen tai navigointilaitteissa käytetty NMEA. Laitteistovalmistajilla on tarjolla erilaisia sovittimia, joilla eri protokollia hyödyntävät laitteet voidaan yhdistää järjestelmäksi. (Visala, 2020) Opinnäytetyössään Lindholm (2016, pp. 19, 21) esittää, että langaton sensoriteknikka tulee yleistymään myös aluskäytössä. Tekniikka on yleistynyt jo teollisissa toimintaympäristöissä. Sen kehittyttyä ja tultua koetelluksi, voidaan olettaa langattoman sensoriteknikan yleistyvän myös laivaympäristöissä. Kriittisten toimintojen, kuten propulsiolaitteiston tai ohjailun tiedonsiirto on perusteltua pitää langallisena sen ylivoimaisen toimintavarmuuden vuoksi.

Tietoverkon rakenne riippuu tiedon käyttötarkoituksesta. Hyödynnetäänkö sitä vain laivan järjestelmien omavalvontaan, kerätäänkö siitä laajempaa operoinnin historiatietokantaa vai pyritäänkö sitä hyödyntämään aluksen ulkopuolella

esimerkiksi operoinnin analytiikassa optimoinnin apuna. Tyypillisessä aluksen ulkopuolisille tahoille tietoja välittävässä järjestelmässä tiedot tuodaan laitteilta laivan automaatiojärjestelmälle, joka hyödyntää siitä osaa esimerkiksi koneistovalvonnassa. Valitut tiedot välitetään eteenpäin laivan palvelimelle, josta ne välitetään suojatuin turvallisin yhteyksin aluksen ulkopuolella sijaitsevalle palvelimelle, kuvattu kuvassa 2. Tyypillinen vaihtoehto on myös automaatiojärjestelmän ulkopuolinen tiedonkeruujärjestelmä, joka on asennettu nimenomaisesti ulkopuoliseen tiedon hyödyntämiseen esimerkiksi operoinnin valvonta tai optimointitarkoituksissa.



Kuva 2. Tyypillinen tiedonkeruu ja -siirto järjestelmä (DNV-GL, 2020).

Tiedonsiirto aluksen ulkopuolelle tapahtuu tyypillisesti satelliitti- tai mobiiliverkkojen tiedonsiirtojärjestelmiä hyödyntäen. Satelliittijärjestelmien kasvavat siirtonopeudet ja laskevat kulut lisäävät niiden yleisyyttä kauppa-aluksilla. UHF-taajuuksiin perustuvat maanpäälliset mobiilitiedonsiirtoverkot puolustavat kuitenkin toistaiseksi asemaansa rannikon läheisyydessä edullisella hinnallaan ja suurella tiedonsiirtonopeudellaan. Alusten kulkuun liittyviä tietoja

välitetään aktiivisesti alusten ja maatukiasemien välillä VHF-taajuuksiin perustuvalla AIS-järjestelmällä (Automatic Identification System). Nämä taajuudet eivät kuitenkaan sovellu erityisen hyvin suuremman datamäärän siirtämiseen. (Lindholm, 2016, pp. 20, 24 - 25)

### 2.3.2 Liitäntärajapinnat

Useilla elektroniikkavalmistajilla on valmiita kaupallisia laitteistoratkaisuja kerätyn tiedon siirtämiseksi aluksen järjestelmien ulkopuolelle, esimerkiksi verkkopalvelimille. (Saari, 2022) Palveluntarjoaja saattaa tarjota valmiita ohjelmistoja kerätyn tiedon hyödyntämiseen, mutta erilaisten ohjelmointirajapintojen (API) kautta voidaan tieto hyödyntää myös kolmannen osapuolen sovelluksissa (Danelec, 2022).

### 2.3.3 Datan käsittely ja analysointi

Esikäsittelyllä varmistetaan, että analyysiin syötetään vain korkealaatuista dataa ja vain se määrä, mikä on tutkinnan kannalta tarpeen. Mahdollisimman tarkan tuloksen aikaansaamiseksi anturitiedosta tulee poistaa häiriöt ja valita analysoitavaksi data tutkittavan asian kannalta asianmukaiselta aikaikkunalta. Esimerkiksi propulsiolaitteiden tietoja ei kannata tutkia satama-ajalta, jolloin laitteet ovat poissa käytöstä. Tehtävien analyysien kannalta epäoleellinen tieto on syytä jättää pois vaadittavan laskentatehon pienentämiseksi. Lopputuloksen laatu on verrannollinen analysoitavan datan laatuun, jonka suodatus on kuormittava, mutta oleellinen vaihe. Jokainen analoginen anturitieto kulkee monen muunnos ja vahvistusvaiheen läpi, jotka kaikki ovat itse anturin lisäksi potentiaalisia häiriöiden aiheuttajia. Häiriöitä voivat olla esimerkiksi erilaiset kohinat, piikit ja katkokset signaalissa. (Dalheim & Steen, 2020)

Suuri määrä tietoa mahdollistaa runsaasti asioita, mutta edellyttää suurta laskentatehoa. Tyypilliset pilvisovellukset tarjoavat säilytyskapasiteetin ja laskentatehon asianmukaiseen tiedonkäsittelyyn. Tuotetun datan määrän

kasvaessa kaiken sen siirtäminen pilveen ei ole kuitenkaan tehokasta tai tarkoituksenmukaista. IOT-ympäristöt, jotka eivät ole jatkuvasti verkon saavutettavissa, kuten laivat, hyötyvät reunalaskennasta. Reunalaskenta tarkoittaa lisättyä paikallista laskentakapasiteettia, jolla voidaan toteuttaa tiedon analysointia ja parantaa tiedon saavutettavuutta käyttöympäristössään. Lisäksi pilveen siirrettävä datamäärä pienenee. Vaikka IO pisteiden tarjoamaa tietoa on aiemminkin käsitelty paikallisesti ja pilvessä, konseptina reunalaskenta ja erityisesti sen optimointi ovat vasta kehitysvaiheessa ja käytännön sovellukset hyvin kohdekohtaisia (DNA Business, 2022b)

#### 2.3.4 Automatisoidun tietojenkäsittelyn riskit

Lisääntynyt tiedonkeruu ja -siirto aluksilla ja aluksien ulkopuolelta lisäävät kyberturvallisuusriskejä. Ulkopuoliset tahot saattavat pyrkiä vaikuttamaan aluksen laitteisiin erilaisin haittaohjelmin, joita levitetään sekä verkkoon yhdistettyihin laitteisiin internetin välityksellä tai fyysisesti kytkemällä ulkopuolisia laitteita laivan laitteisiin. Näillä saattaa olla suoria vaikutuksia aluksen operointiin ja hallintaan eri laitteistojen ohjainlaitteiden kautta tai niillä voidaan kalastella tietoa aluksen ja yrityksen toiminnasta. Tietoliikenteen kehittyessä ja siirtonopeuksien kasvaessa on odotettavissa, että kyberuhkien määrä kasvaa entisestään ja niiden ehkäisemiseen tulisi myös laitevalmistajien keskittyä entistä voimakkaammin. Laivan järjestelmät muodostuvat usean valmistajan laitteista ja ohjelmistoista, joiden rajapinnat saattavat lisätä arvaamattomia aukkoja kyberturvallisuudessa. Konservatiivisella merenkulkualalla kyberuhat otetaan kasvavassa määrin huomioon, mutta kehityksenvaraa on vielä runsaasti. Havaittuja uhkia ja niiden alkuperää harvoin tutkitaan riittävän syvällisesti niiden juurisyiden selvittämiseksi. Myös uhan tunnistaminen kyberturvallisuudessa on harjaantumattomalle erittäin hankalaa ja laitevalmistajan vaikutus turvallisuuteen korostuu. (Afni, 2022)

Luokituslaitokset pyrkivät laitteistovaatimuksillaan minimoimaan kyberturvallisuusriskejä. Ne ohjaavat tehokkaisiin menetelmiin, joilla voidaan tunnistaa, suojata, torjua ja palautua kyberturvallisuuspoikkeamista. (DNV,

2022) Riippuen asennuksesta, luokituslaitos voi vaatia tietojärjestelmän sertifiointia sääntöjensä mukaiseksi. Tietojärjestelmän sertifiointi on mahdollista suorittaa koko järjestelmälle tai se voidaan katsoa sertifioituksi, mikäli kaikki sen komponentit ovat vaatimukset täyttäväksi yksittäin sertifioituja. (DNV-GL, 2020)

## 3 Operointidatan hyödyntäminen

Kerättyä tietoa analysoimalla voidaan oppia aluskohtaisia ominaisuuksia, saavuttaa parempi tilannekuva aluksen tilasta ja tehdä faktapohjaisia päätöksiä sekä aluksen operointitavan että huoltojen suhteen. Tässä luvussa käsitellään operoinnin optimointia ja huoltotarveanalytiikkaa.

### 3.1 Statistiset metodit ja koneoppiminen

Yksinkertaisimmillaan laitteiston kuntoanalytiikka perustuu tilastollisiin metodeihin, joilla seurataan operointidataa ja annettuja raja-arvoja. Monimutkaisempia eksponentiaalisiiin liukuviin keskiarvoihin perustuvia tilastollisia menetelmiä käytetään enenevässä määrin niiden monikäyttöisyyden ja tarkkuuden ansiosta. (Chelioti, et al., 2020) Yksinkertainen esimerkki tilastoidun tiedon hyödyntämisestä on tarkkailla jonkin laitteen energiankulutusta. Mikäli esimerkiksi pumpun sähkömoottori vaatii aikaisempaan nähden poikkeuksellisen paljon energiaa, voidaan olettaa jonkin tekijän muuttuneen. Mikäli käyttöolosuhde ei ole muuttunut, onko huollon yhteydessä laite koottu ja linjattu oikein tai ovatko laakerit kuluneet ja kasvattaneet pyörimisvastustaan? Kun muutos havaitaan, voidaan komponentti tarkastaa mahdollisten virheiden varalta. (Bialas, 2021)

Koneoppimista voidaan hyödyntää älykkään laitteiston kuntoanalytiikan luomisessa eri keinoin. Useimmin turvallisuutta lisäävissä sovelluksissa koneoppimiseen pohjautuvat analyysit perustuvat ennustettavan käyttäytymisen malleihin, joissa analysoidaan suoritettavan toiminnon normaalitilanteessa odotettavissa olevia arvoja suhteessa mitattuihin arvoihin ja pyritään havaitsemaan poikkeamia. Yhdistelemällä tilastollisia menetelmiä koneoppimisen mahdollisuuksiin on saavutettu hyviä tuloksia muun muassa tuulivoimaloiden komponenttien kuntoanalytiikassa. Tällaisissa sovelluksissa järjestelmään syötetään historiassa mitattua operointidataa, jota

hyväksikäyttäen saadaan muodostettua ennustettavat käyttäytymismallit eri mittausarvoille. (Chelioti, et al., 2020)

Merenkulkualalla koneoppimista hyödyntävää analytiikkaa on tutkittu erityisesti pääkoneen, vaihteistojen ja generaattorijärjestelmien kuntoa tarkastelevissa sovelluksissa. Näissä hyödynnettyä operointidataa ovat muun muassa lämpötila-, paine-, akustiset- ja värähtelymittausarvot. Vaikka käytetyt metodit ovat osoittautuneet tarkoiksi, edellyttävät monet niistä kuitenkin suurta määrää tarkkaa historiatietoa eri operoinnin tiloista, eivätkä ne sovellu yleisesti käytössä olevan aluskaluston instrumentoinnin tasolle. Myös pienempään operointidatahistoriaan perustuvia menetelmiä on kehitetty lupaavin tuloksin. Koneoppimiseen perustuvia kuntoanalytiikan algoritmeja tulee kehitysvaiheessa tarkastella hyvin kriittisesti, sillä puutteellinen tai epätarkka data saattaa vaikuttaa olennaisesti niiden tarkkuuteen ja vaarantaa aluksen turvallisuuden. (Chelioti, et al., 2020)

Laitteiston kuntoa tarkkailevien metodien lisäksi huoltotarpeen ennakoointia voidaan toteuttaa yhdistämällä reaaliaikaiseen aluksen kuntotietoon pidemmän ajan operointitilaennuste. Näin voidaan arvioida laitteiston tulevaa huoltotarvetta ja aikatauluttaa tarvittavia huoltotoimenpiteitä ennustettuun operointiprofiiliin perustuen pitkänkin ajan päähän. (Chen, et al., 2022)

### 3.2 Digital twin ja simulaatiot

Kasvavassa määrin mielenkiintoa päätöksenteon tukena herättää tarkasteltavasta laitteistosta muodostettava digitaalinen kaksonen. Käsite digital twin muodostuu fyysisestä todellisuudesta, sen virtuaalisesta esityksestä ja kaksisuuntaisesta tiedonvaihdosta todellisen ja virtuaalisen kaksosen välillä. Todellisuus kattaa tarkasteltavan kokonaisuuden, siihen vaikuttavat ympäristötekijät, sekä siinä toteutuvat prosessit. Virtuaalinen esitys tarkasteltavasta laitteistosta pyrkii simuloimaan todellisuutta valitulla laajuudella ja tarkkuudella. Tiedonsiirrolla varmistetaan, että virtuaalinen esitys vastaa todellisuutta. Tietoa siirretään myös virtuaalisesta ympäristöstä todellisuuteen

esimerkiksi ohjaamalla prosesseja virtuaalisen kaksosen kautta. Teknisissä laitteissa konseptia voidaan soveltaa yksittäiseen koneiston osaan, osakokonaisuuksiin, laitteisiin, tai kokonaisiin laitoksiin. Näin voidaan saavuttaa laskennallista tietoa, joka on vaikea mitata, kuten operoinnista riippuvaisten väsymisrasituksen vaikutuksia rakenteissa. Lisäksi voidaan simuloida suunniteltuja toimenpiteitä virtuaalisessa todellisuudessa, tarkastella vastaako simuloitu lopputulos toivottuja tuloksia ja käyttää tietoa päätöksenteon tukena. Merenkulussa digital twin voidaan muodostaa esimerkiksi aluksen moottorista tai rungosta johon kohdistuvien rasituksen tai korroosion vaikutuksia voidaan mallintaa asianmukaisen seurannan varmistamiseksi. Digital twin voidaan muodostaa myös koko aluksesta laitteistoihin. (VanDerHorn & Mahadevan, 2021) Toistaiseksi digital twin tekniikka ei ole riittävän kehittynyt ainoaksi metodiksi kunnon todentamiseen merenkulussa, mutta se voidaan jo hyväksyä sellaiseksi joidenkin yksinkertaisten, vähemmän kriittisten laitteiden kohdalla (DNV, 2021).

### 3.3 Energiatehokkuus

Aluksen energiategokkuuteen vaikuttavat sekä rakenteelliset että operatiiviset tekijät. Operatiiviset valinnat energiategokkuuden parantamiseksi vaativat pienempiä investointeja kuin rakenteelliset muutokset. (Poulsen, et al., 2022) Operatiivisiin tekijöihin kuuluvat sekä kaupalliset että merenkululliset valinnat. Suurin vaikutus kaikkien rahtia kuljettavien alusten energiategokkuuteen kuljetussuoritetta kohden on kaupallisilla valinnoilla, joilla esimerkiksi minimoidaan painolastimatkoja, aikataulutetaan alus taloudelliselle kulkunopeudelle ja pyritään sovittamaan aluskoko lastimäärän mukaisesti. Merenkulullisilla valinnoilla energiategokkuuteen voidaan vaikuttaa positiivisesti muun muassa laskemalla nopeutta, huomioimalla säätila reittisuunnittelussa, optimoimalla aluksen trimmiä, optimoimalla automaattiohjauksen asetuksia tilanteen mukaan, optimoimalla koneiston käyttöä, minimoimalla painolastiveden määrä, optimoimalla satamaoperaatiot ja oikea-aikaisella satamaan saapumisella. Kaupalliset intressit eivät kuitenkaan kaikissa



markkinatilanteissa tue energiatehokkuuden parantamista ja rajoittavat merenkulullisten toimien mahdollisuuksia. Tyypillisesti polttoaineiden ollessa edullisia ja rahtien markkinahintojen korkeita, pyritään aluksen kuljetussuoritetta kasvattamaan polttoaineenkulutuksen kustannuksella. (Poulsen, et al., 2022). Tehtyjen toimien vaikutusta energiatehokkuuteen voidaan tarkastella mitatun operointidatan avulla.

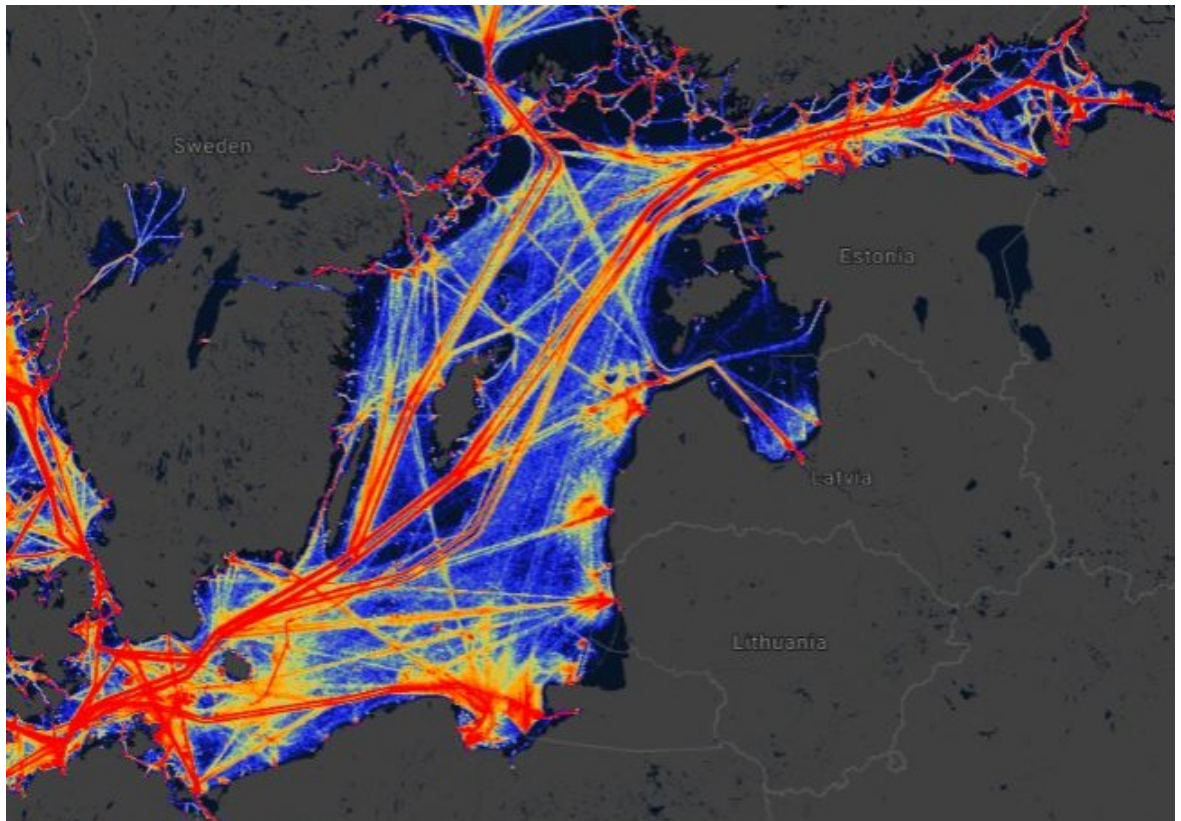
### 3.3.1 Kaupalliset valinnat

Vuodesta 2013 yhdistyneiden kansakuntien alainen kansainvälinen merenkulujärjestö IMO on asettanut voimaan erilaisia vaatimuksia laivanvarustajille, jotka pyrkivät parantamaan alusten energiatehokkuutta kasvihuonekaasujen muodostumisen rajoittamiseksi ja ilmastomuutoksen hillitsemiseksi. Toistaiseksi käytössä olevat energiatehokkuuden mittarit eivät kykene erottelemaan kaupallisilla ja merenkulullisilla valinnoilla aikaansaatuja parannuksia, eivätkä velvoita kaikkia olennaisia osapuolia energiatehokkuuden parantamiseen. Energiatehokkaiden valintojen mahdollisuuksia rajoittavat näin ollen muun muassa rahdin omistajien aikataulutavoitteet ja uudelleenreititykset (Poulsen, et al., 2022)

Rahtaus sopimukset eri osapuolien välillä usein jakavat polttoaineensäästöä saatavat säästöt vain yhdelle osapuolelle. Mikäli esimerkiksi lastin purkusatamassa on odotettavissa viivästys lastioperaation aloittamiselle, saattaa sopimusteknisistä syistä olla merkittävästi kannattavampaa pitäytyä alkuperäisessä aikataulussa, kuluttaen suuri määrä polttoainetta, kuin säätää aluksen nopeus oikeaan saapumisaikaan, säästää polttoainetta ja vähentää päästöjä. Lisäksi saapumalla satama-alueelle odottamaan ennen mahdollisia lastioperaatioita keskitetään laivauksen päästöjä satama-alueille, usein lähelle kaupunkia. (Ahokas, 2019)

### 3.3.2 Reitti- ja nopeusoptimointi

Riippuen aluksen operaattorin tavoitteista, matkaa optimoidaan käytetyn ajan, energiatehokkuuden tai turvallisuustekijöiden suhteen. Reittivalintoja ohjaavat aluksen mitat, syväydelle turvalliset vesialueet, reittijakojärjestelmät ja alueet joiden kauttakulku on kielletty erillisestä syystä. (Walther, et al., 2016) Kuva 3 esittää AIS-laitteiden paikkatietoa hyödyntäen kootun liikennetiheyden Itämeren alueella vuonna 2021. Kuvasta havaitaan liikenteen keskittyvän pääväylille ja kulkevan varsin suoraviivaisesti Itämerellä sijaitsevien satamien ja reittijakojärjestelmien välillä. Syitä poikkeamille saattavat olla liikennetilanteiden lisäksi säätilaan liittyvät reittivalinnat.



Kuva 3. Liikennetiheys itämerellä (Vesselfinder, 2021)

Polttoainekulutuksen seurantaan ja optimointiin on kehitetty useita erilaisia metodeja. Alukseen kohdistuva kokonaisvastus muodostuu aluksen kulkuvastuksesta tasaisessa vedessä, tasaisella kurssilla ja nopeudella, sekä

ulkoisten tekijöiden, kuten sään aiheuttamista lisävastuksista. Aluksen suunnittelussa käytetty standardoitu nopeus-/teho-käyrä kuvaa kulkuvastusta. (Liu, et al., 2020) Kulkuvastus muodostuu kitkavastuksesta ja jäännösvastuksista, kuten aallonmuodostusvastuksesta ja ilmanvastuksesta (Wärtsilä, 2022b). Kulkuvastuksen voidaan yleisesti todeta uppoumarunkoisissa aluksissa olevan verrannollinen aluksen nopeuteen (Liu, et al., 2020). Hidastamalla nopeutta voidaan saavuttaa merkittäviä polttoainesäästöjä. Käytettävää nopeutta ohjaa pitkälti markkinaympäristö, mutta myös turvallisuuskysymykset ovat osa kokonaisuutta. Jopa henkilökohtaiset intressit vaikuttavat joissakin tapauksissa negatiivisesti polttoaineen kulutukseen. Aluksen henkilökunta saattaa pyrkiä satamaan mahdollisimman aikaisin, esimerkiksi saadakseen enemmän aikaa satamassa. (Poulsen, et al., 2022)

Ulkoisten tekijöiden vaikutus saattaa kasvattaa aluksen kokonaisvastusta 50-100 % tyynen veden kulkuvastuksesta (Wärtsilä, 2022b). Ottamalla nämä lisävastukset huomioon reittisuunnittelussa, aikataulutuksessa ja nopeusvalinnoissa, voidaan saavuttaa merkittäviä säästöjä aluksen polttoaineenkulutuksessa ja välttää turvallisuusriskejä.

Ulkoisten tekijöiden vaikutus aluksen suorituskykyyn riippuu aluksen runkomuodosta, kansirakenteista, sekä ulkoisen tekijän suunnasta ja voimakkuudesta aluksen suhteen, esimerkiksi aallokossa aallonpituudesta ja jaksonajasta. Vaikutukset kohdistuvat sekä aluksen kokonaisvastukseen että propulsioon hyötysuhteeseen. Varustamoille myytävissä optimointijärjestelmissä joudutaan usein käyttämään osin empiirisiä metodeja, jotka eivät vaadi yksityiskohtaisia tietoja aluksen hydrodynamiikasta. Rungon tarkat hydrodynaamiset ominaisuudet ovat usein suojattua tietoa, tai sitä ei muusta käytännön syystä ole saatavilla. Ulkoisten tekijöiden vaikutuksia alukseen voidaan myös analysoida mitatun tiedon perusteella. Aluksen ja sen toimintaympäristön seurantahistoriasta on mahdollista selvittää tarkasteltavan aluksen käyttäytymistä erilaissa olosuhteissa. (Liu, et al., 2020)

### 3.3.3 Kellumisasento

Optimoimalla aluksen kellumisasentoa, voidaan vaikuttaa kulkuvastukseen. Suurin vaikutus on pituussuuntaisella kallistuskulmalla, eli trimmillä. Mikäli aluksen trimmin vaikutusta kulkuvastukseen halutaan arvioida ilman pitkää tiedonkeruujaksoa, voidaan siihen hyödyntää mallikokeiden mittaustuloksia. (Tu, et al., 2022) Myös käytön aikana tehtäviä kulkuvastusanalyysyjä, jotka pohjautuvat operoinnin aikana mitattuun tietoon, on kehitetty (Coraddu, et al., 2017). Olennaisia tietoja trimmioptimoinnin kannalta ovat tarkastelutavasta riippuen matkalle suunniteltu nopeus, hyväksyttävä trimmin vaihteluväli, aluksen syväys, aluksen mitat ja aluksen rungon mallikokeista saadut tulokset. (Tu, et al., 2022) Aluksen syväys vaikuttaa merkittävästi kulkuvastukseen ja optimaaliseen trimmikulmaan, kuten myös tuulen ja merenkäynnin suunta, sekä nopeus. Syväys määräytyy tavallisesti kuljetussuoritteiden perusteella ja siihen voidaan vaikuttaa vain rajallisesti. (Coraddu, et al., 2017)

### 3.3.4 Rungon ja potkurin kasvuston vaikutus

Rungon ja propulsiolaitteiden kuntoa ja suorituskykyä voidaan tarkastella seuraamalla pitkäjaksoisesti aluksen nopeutta, suuntaa, sääolosuhteita ja vaadittua propulsiotehoa kuljetun nopeuden saavuttamiseksi. Seuranta voidaan tehdä muun muassa teho-nopeus käyrällä ja seuraamalla sen kehittymistä mitattujen arvojen perusteella (Liu, et al., 2020). Kehittyneempiä metodeja ovat muun muassa digital twin konseptia hyödyntävät tarkastelumallit, joissa simuloitua ja toteutunutta kulkunopeutta voidaan vertailla alukselta saatavan reaaliaikaisen tai lähes reaaliaikaisen mittaustiedon perusteella. Havaitsemalla kasvuston lisääntyminen, voidaan pohjan puhdistus suorittaa oikea-aikaisesti ja näin pienentää aluksen kulkuvastusta ja parantaa energiatehokkuutta. Kehittyneemmissä tarkasteluissa voidaan kasvuston lisääntymistä myös ennustaa ja näin aikatauluttaa tulevat telakoinnit ja puhdistukset operoinnin kannalta tehokkaasti. (Coraddu, et al., 2019)

### 3.4 Huollon optimointi

Käyttöön otettujen säännösten, kuten ISM-koodin, myötä merenkulun turvallisuus on parantunut siirtymällä reagoivasta huollosta valmistajien huoltoväleihin perustuvaan ennakoivaan huoltoon. Näin on saatu varmistettua aluksen toiminnan kannalta kriittisten komponenttien toimintavarmuus. Perinteisesti pakollisena pahana koettu ennakoiva huolto on alkanut korvautua näkemyksellä huoltotoiminnan vaikuttavuudella kannattavuuteen ja ennakoiva huolto myös vähemmän kriittisille komponenteille on yleistymässä. (Raptodimos, et al., 2016) Muilla teollisuudenaloilla, joissa sääntelyä on vähemmän, on reagoiva huolto ollut pidempään tyypillinen muoto huoltojen ajoittamiseen. Kuitenkin laitoksissa, jossa prosessin alasajo on kallista ja jokainen seisontatunti maksaa, on siirrytty kohti ennakoivaa tarveperusteista huoltoa tavoiteltujen säästöjen toivossa. Merenkulkualalla kehitys ennakoivasta huollosta kohti kuntoon perustuvaa tarkastelua on ollut hitaampaa, vaikka laitteisto ja kuntoanalytiikka ovat hyvin samanlaisia, kuin muilla teollisuudenaloilla ja soveltuvia työkaluja on tuotu esille. (Gkerekos, et al., 2016)

#### 3.4.1 Kunnonvalvonta ja tarveperusteinen huolto

Tarkastelemalla laitteilta saatava operointidataa voidaan havaita sekä jo syntyneitä vikoja että muodostuvia ongelmia. Älykkäällä laitteiston kuntoanalytiikalla (Condition Monitoring, CM) voidaan tunnistaa vikaantuvia laitteita ennen varsinaista vikatilannetta. Näin on mahdollista sekä suunnitella että ennakoida huoltoja tarveperusteisesti ja oikea-aikaisesti (Condition Based Maintenance, CBM) ja välttää seisonta-aikaa. Niin teollisuudessa kuin merenkulunkin alalla, tarveperusteisella ennakoivalla huollolla voidaan saavuttaa 10–35 % säästöjä operointikuluissa. (Chelioti, et al., 2020)

Huoltojen osuus on noin 10 – 15 % laivanvarustamon kokonaiskuluista. Perinteinen ennakoiva huolto perustuu pääosin komponenttien valmistajien suosituksiin sopivista huoltoväleistä. Usein on määritetty, että komponentti vaihdetaan tai huolletaan kun sen vikaantumisen riski on noin 1 – 2 %, vaikka

useimmissa tapauksissa komponentti kestäisi vielä 2 - 3 kertaa pidemmän ajan. Tämä lisää merkittävästi tarpeettomia kustannuksia ja huoltojen vaatimaa seisonta-aikaa. Kriittisissä laitteissa toimintavarmuus on olennaista ja ennakoiva huolto tarpeen. Reagoiva huolto perustuu puolestaan siihen, että laitteita käytetään hajoamiseensa asti. Näin ollen koko komponentin elinikä hyödynnetään. Riskinä on kriittisten komponenttien hajoaminen aiheuttaen vaaratilanteita, komponentin hajoaminen korjauskelvottomaksi ja mahdollisesti myös liitettyjen laitteiden vaurioituminen. Kertakustannukset huoltotilanteessa ovat korkeat ja ennakoimaton seisonta-aika korjaustöiden aikana haittaa aluksen operointivarmuutta. Tästä syystä reagoivaa huoltoa sovelletaan yleisemmin halvempiin ja vähemmän kriittisiin aluksen komponentteihin. Tarveperusteinen huolto perustuu älykkääseen laitteiston kunnonvalvontaan, jossa erilaisilla mittauksilla pyritään seuraamaan laitteiden huoltotarvetta ja näin suorittamaan huoltoa oikea-aikaisesti ennen hajoamista. Vaaditut mittaustekniikan kiinteät asennukset edellyttävät suurempia investointeja rakennusvaiheessa, mutta tulevat aluksen elinkaaren aikana edullisemmaksi pudonneiden operointikulujen johdosta. (Gkerekos, et al., 2016)

Huolimatta erilaisten kuntoanalytiikan työkalujen olemassaolosta jo vuosikymmeniä ja laivanomistajien mielenkiinnosta ennakoida alusten komponenttien huoltotarvetta, harva laiva tuottaa tarvittavan määrän dataa luotettavan kuntoanalytiikan toteutumiseksi. Vaikka laitteet tuottavat enenevässä määrin mittaustietoa, tiedon määrä ja laatu ovat usein puutteelliset, joista jälkimmäinen johtuu useimmin liian pitkästä mittausvälistä ja manuaalisesta operointi- ja vikatilannekirjauksesta. (Rijsdijk, et al., 2020)

#### 3.4.2 Esimerkkejä mittausdatan hyödyntämisestä

Dieselmoottorin pakokaasun lämpötilaa, turboahtimen tuottamaa ahtopainetta ja ahtoilman lämpötilaa seuraamalla on mahdollista havaita kehittyviä vikoja laajalti dieselmoottorissa ja sen tukijärjestelmissä, kuten ahtimissa, ahtoilmanjäähdyttimissä, ahtoilmaputkistoissa, venttiilikoneistoissa ja sylintereissä (Chelioti, et al., 2020). Erityisesti polttoaineensyöttölaitteiden ja

venttiilikoneistojen kunnossa tapahtuvia muutoksia voidaan havaita akustisilla- ja värähtely-mittauksilla (Gkerekos, et al., 2016). Rutiininomaisesti mitattavat sylinterikohtaiset pakokaasun lämpötilat, työtahdin huippupaineet ja ohivuodot antavat suoraa osviittaa polttoaineen syöttölaitteiden tilasta, sekä sylinteri- ja mäntäkokoospanojen kunnosta (Anias, 2022). Sylinteripaineiden avulla voidaan varmistua mekaanisen kuorman ja lämpökuorman jakautumisesta tasaisesti kaikille sylintereille. Lisäksi tieto sylinteripaineista auttaa moottorin käynnin optimoinnissa ja näin päästöjen, sekä polttoaineenkulutuksen vähentämisessä. (ABB, 2022c) Voiteluöljyn kuntoa seurataan säännöllisesti tehtävillä analyyseillä. Testattavia ominaisuuksia ovat muun muassa öljyn vesipitoisuus, viskositeetti, happamuus, partikkelipitoisuus ja leimahduspiste. Itse öljyn suorituskyvyn lisäksi tuloksista voidaan havaita koneissa olevia vikoja, kuten runsasta kulumaa metallipartikkeleista, ohivuotoa nokipitoisuudesta, vesivuotoa vesipitoisuudesta ja polttoainevuotoja viskositeetista. (Anish, 2019)

Meriympäristössä biologisesta kasvustosta on haittaa rungon ja potkurien lisäksi myös jäähdytysjärjestelmässä. Kasvusto lämmönvaihtimissa haittaa lämmön johtamista koneistolta meriveteen tai tarpeettoman suurta virtausvastusta jäähdytysvesiputkistossa, pienentäen tilavuusvirtaa ja lämmönsiirtotehoa. Lämmönsiirtokykyä ja sen kehitystä voi tällaisessa tapauksessa tarkkailla lämpötilaeron ja meriveden lämpötilan seurannalla. (Rijsdijk, et al., 2020) Käytettävää konetehoa voidaan joutua pudottamaan vaaditusta ylikuumenemisen ehkäisemiseksi, jolloin tavoiteltua nopeutta ei välttämättä voida ylläpitää (Anias, 2022).

Keskipakopumppuja käytetään yleisesti laivoilla mm. jäähdytysneste-, lasti-, painolasti- tai merivesipumppuina. Pumpuissa tyypillisesti kuluvia osia ovat muun muassa laakerit, akselitiivisteet ja juoksupyörä. Juoksupyörät kärsivät kavitoinnin aiheuttamasta eroosiosta, joka heikentää pumppujen hyötysuhdetta. Pumppujen suorituskykyä voidaan seurata paine-eron ja virtauksen perusteella, kun pumpun ominaisuudet ovat tiedossa. (Rijsdijk, et al., 2020)

Laakereiden kuntoa tarkkaillaan käyttösovelluksesta riippuen eri tavoin. Lämpötila-, vällys- ja värinämittaus ovat tehokkaita kunnonvalvonnan työkaluja.

Mittausarvojen analysoinnissa on otettava huomioon mahdollisesti muuttuvat kuormitukset ja pyörimisnopeudet, jotka luonnollisesti vaikuttavat arvoihin. (Lindholm, 2016)

### 3.4.3 Tapahtumalokit

Tapahtumalokien, kuten korjaushistorian perusteella on mahdollista tarkastella yksittäisten komponenttien elinkaaria ja luoda niistä ennusteita. Luotettavien ennusteiden luomisessa olennaisinta ovat oikeanlaiset kirjaukset tapahtumahistoriassa. Kirjattujen korjaustoimenpiteiden tulisi sisältää vaihdettujen osien lisäksi myös kommentit komponenttien kunnosta, sillä säännöllisin aikaväleihin huollettavat kohteet saattavat vääristää elinkaaritarkastelua, mikäli komponentin kunto vaihtohetkellä ei edellytä toimenpiteitä. (Rijsdijk, et al., 2020) Myös kuvien lisääminen tapahtumakirjauksiin luo lisäarvoa, jolla tiedon siirtyminen tehostuu.

### 3.4.4 Lisätty todellisuus huoltojen tukena

Merenkulun huoltotoiminnan asiantuntijat joutuvat usein matkustamaan huoltokohteensa luokse. Tämä on kallista, aikaa vievää ja kuormittavaa niin henkilöstölle kuin ympäristöllemmekin. Laivan huolellisella dokumentaatiolla voidaan tehdä mahdolliseksi lisätyn todellisuuden hyödyntäminen huoltotoiminnan etäpalveluissa. Lisätty todellisuus yhdistää työpisteellään päivystävän asiantuntijan huoltokohteessa olevaan teknikkoon tai asentajaan, joka voi suorittaa avustettuna vaativankin tehtävän ilman erikoiskoulutusta. Näin saavutetaan merkittäviä säästöjä huoltohenkilöstön kuluissa. (DNA Business, 2022a) Lisäksi edullisemmilla asiantuntijapalveluilla niiden käyttökynnystä voidaan laskea ja edesauttaa asianmukaista laitteiston ylläpitoa.



### 3.5 Kerätty tieto suunnittelun tukena

Tutkimalla käytössä olevien alusten käyttäytymistä eri puolilla maailmaa voidaan tarkastella suunnittelun onnistumista eri meriolosuhteissa. Tietoa voidaan verrata tietokonesimulaatioissa ja mallikokeissa saatuihin arvoihin ja saavuttaa parempi käsitys erilaisten piirteiden vaikutuksesta alusten käyttöön. Mitatun tiedon perusteella suunnittelussa voidaan saavuttaa merkittäviä hyötyjä muun muassa aluksen energiatehokkuuden ja huoltokustannusten saralla. (Raptodimos, et al., 2016)

Opinnäytetyössään Lindholm (2016) käsittelee tiedon omistajan määrittelyn merkitystä jo järjestelmän kehitysvaiheessa. Tänä päivänä tiedosta puhutaan uutena öljynä, arvokkaana resurssina omistajalleen, jonka hyödyntämiseen liittyy merkittäviä taloudellisia intressejä. Palveluna myytävän optimointiohjelmiston tuottaman tiedon hyödyntäminen varustamorajojen yli saattaisi tarjota mahdollisuuksia ohjelmiston suorituskyvylle ja sovellettavuudelle, sekä laitevalmistajille tuotekehityksen tukena. Tästä syystä kaupallinen ohjelmisto tulisi toteuttaa siten, että ohjelmistokehittäjällä on mahdollisuus käyttää hyväksi asiakasaluksilta kerättyä tietoa.

## 4 Suomalaiset lastialukset ja tiedonkeruu

Tämän tutkimuksen kohteena oli operointidatan saatavuus ja hyödyntäminen suomalaisilla lastialuksilla. Tutkimus aloitettiin verrattain uudesta yleislastialuksesta, joka toimii pääasiassa lähiliikenteen liikennealueella suomalaisen varustamon omistuksessa. Tästä saatiin hyvä peruskäsitys alusluokan tyypillisestä varustelutasosta. Tuloksena luotiin MS Excel tiedosto, johon on koottu aluksen keskeisimmät laitteistot, niistä mitattavat suureet, mittaustavat, tyypilliset mittausravot, sekä niistä pääteltäviä tietoja. Tiedot on jaoteltu eri välilehtiin tiedoston selkeyttämiseksi. Kullakin välilehdellä kuvataan kyseiseen välilehteen koottujen laitteiden ominaisuuksia ja toimintoja, jonka alle on taulukoitu laitekohtaisesti tarjolla oleva mittausdata. Tiedostoon koottiin myös manuaalisesti kerättävät ja erilaisiin järjestelmiin ja päiväkirjoihin kirjattavat tiedot, kuten havainnot säätilasta, huoltotoimenpiteet ja lastin tiedot. Liite 1 on kuvakaappaus kyseisestä tiedostosta. Lisäksi kerättiin aluksen toiminnanaikaisia lokitiedostoja eri järjestelmistä ja operoinnista koostettavia raportteja havainnollistamaan toimeksiantajalle, missä muodossa ja millaista tietoa operointi kyseisellä aluksella tuottaa. Kaikkia tietoja aluksen operoinnista ei liitetty tämän työn julkaistavaan versioon tietoturvasyistä.

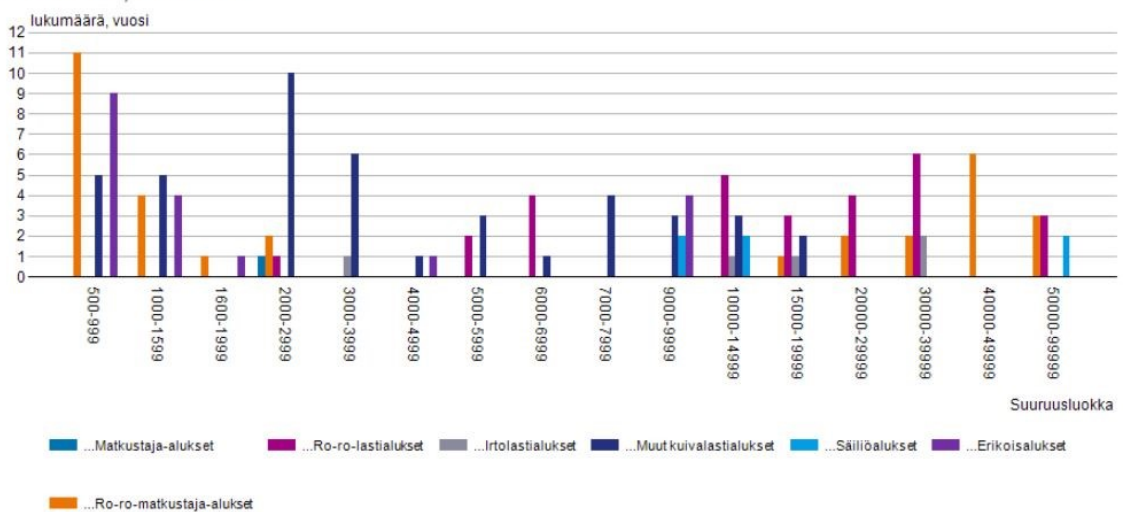
Jotta voitiin selvittää laajemmin operointidatan saatavuutta ja sen hyödyntämisen tasoa operoinnin optimoinnissa nykytilanteessa, haastateltiin suomalaisten varustamoiden henkilöstöä sekä aluksilla että maaorganisaatioissa. Saatavissa olevien haastatteluiden rajallisen lukumäärän vuoksi tutkimusmenetelmä suuntautui kvalitatiiviseksi. Tutkimusta varten haastateltiin henkilöstöä seitsemältä eri alukselta, jotka edustivat kuutta eri varustamoita. Lisäksi haastateltiin teknisiä tarkastajia neljän eri varustamon maaorganisaatiosta. Haastattelut toteutettiin alusvierailuin ja puhelinkeskusteluin. Haastatteluita varten muodostettiin aiheilstat, joita mukaillen keskustelua muodostui. Keskusteluissa esille tulleet asiat kirjattiin ylös ja koottiin alushenkilöstön (Liite 3) sekä maaorganisaation edustajien (Liite 2) erillisiin muistiotaulukoihin helpon vertailtavuuden vuoksi.

#### 4.1 Alusten varustelutaso

Lukumääräisesti suurin suomalainen alustyyppi on matkustaja-alukset. Lastialusten suurin alaluokka muodostuu irtto- ja kuivalastialuksista. Toiseksi suurin alusryhmä on Ro-Ro lastialukset. Suomalaisten lastialusten keski-ikä kansainvälisessä liikenteessä on lähes 20 vuotta. (Suomen virallinen tilasto (SVT), 2022) Tyypillisesti irtto- ja kuivalastialuksessa asuin ja koneistotilat sijaitsevat aluksen perässä ja lastiruuma laivan keski- ja keulaosissa. Aluksilla voidaan kuljettaa pakattua kappaletavaraa ja pakkaamatonta irtolastia. Monikäyttöisyyttä on voitu lisätä esimerkiksi konttivarustelulla tai erilaisin lastinkäsittelylaittein.

Kuva 4 havainnollistaa eri alustyyppien lukumääräistä jakaumaa eri kokoluokissa bruttovetoisuuden mukaan. Tämän tutkimuksen otanta koostui kuivalastialuksista, joka on alusmäärältään suurin yksittäinen lastialusluokka.

Kauppalaivastoon kuuluvat alukset kuukausittain muuttujina Alustyyppi ja Suuruusluokka. Lukumäärä, 2022M11.



Kuva 4. Aluksien lukumäärä alustyyppin ja kokoluokan mukaan (Suomen virallinen tilasto (SVT), 2022)

#### 4.1.1 Koneisto

Lastialuksissa selvästi yleisin propulsiojärjestelmä on yksipotkurinen akseliveto säätösiipipotkurilla. Suuremmissa Ro-Ro lasti- ja matkustaja-aluksissa useamman potkurin ja propulsiokoneen järjestelmä on yleinen.

Propulsiomootorina suomalaisissa aluksissa nelitahtinen keskinopea dieselmoottori on yleisin valinta. Vaihtoehtoisia polttoaineita, kuten nesteytettyä maakaasua ja ei-fossiilisia polttoöljyjä, on viime aikoina alettu soveltamaan samankaltaisissa moottoreissa. Yleisimmät polttoaineet otannan aluksissa ovat kuitenkin raskas polttoöljy ja vähärikkinen kevyt polttoöljy.

Sähköntuotanto tapahtuu merimatkoilla useimmin propulsiokoneen akseliin liitettyllä generaattorilla, jota voidaan myös joissakin tapauksissa käyttää propulsiokonetta tukevana sähkömootorina. Muulloin sähkö tuotetaan apukoneilla, jotka ovat tyypillisesti nopeakäyntisiä dieselmoottoreita yhdistettynä generaattoriin. Sähkön maistasyöttö oli monelle alukselle mahdollista, mutta ei käytössä. Alushenkilöstön mukaan maistasyöttö satamissa on harvoin tarjolla tai sen teho ei ole riittävä. Myöskään kannustinta sen kytkemiseen ei havaittu, joitakin yksittäisten satamien vaatimuksia lukuun ottamatta.

#### 4.1.2 Automaatiojärjestelmät

Ennen tutkimusta oletettiin, että suomalainen kauppalaivasto on rajoittunut instrumentoinniltaan pitkälti valitun koneistovalvonnan tason edellyttämien minimivaatimusten mukaiseksi. Yleisimmin rahtilaivojen koneistovalvonnan oletettiin olevan riittävä, jotta konehuone voi olla meriajossa miehittämätön. Tämän edellytyksenä ovat muun muassa etähälytykset konevalvomon lisäksi komentosillalla ja vahtivuorossa olevan konemiehen hytissä. Mikäli minimivaatimukset instrumentoinnille on ylitetty, oletettiin sen rajoittuvan pääkoneen lämpötila- ja painetietojen kaukovalvontaan, sekä mahdollisesti polttoaineen virtausmittaukseen.

Katsaus aluksiin osoitti, että aluksien instrumentointi on vuosien saatossa usein jäänyt lähes alkuperäiselle tasolleen vaatimattomin muutoksin. Laajat automaatioasennukset tiedonkeruutarkoituksissa, etenkin jälkiasennuksena, ovat merkittävä investointi tyypillisen rahtilaivan arvoon ja operointikustannuksiin suhteutettuna. Ilman selkeää tarvetta ja osoitettavaa näyttöä asennuksilla saavutettavasta hyödystä, on niitä ollut vaikea perustella taloudellisesti.

Vaikka erilaisia jälkiasenteisia järjestelmiä aluksiin onkin lisätty, kokonaisvaltaista koneiston automaatiojärjestelmää ei otannan aluksiin ollut jälkikäteen asennettu. Otannan uudemmissa aluksissa oli alkuperäisiä koneiston automaatiojärjestelmiä, jotka kykenevät tiedonkeruuseen ja jotkin niistä myös sen välittämiseen maaorganisaatiolle.

## 4.2 Kerättävä operointidata

### 4.2.1 Kerättävä tieto

Vaikka aluksilla oli paikoin runsaastikin mahdollisuuksia kerätä tietoa operoinnista, sitä tallennettiin myöhempää analysointia varten niukasti. Yleisempiäkään koneiston mittausarvoja harvemmin tallennettiin systemaattisesti ja jäljitettävään muotoon.

Sääntömääräinen tiedonkeruu toteutui jokaisessa haastatellussa varustamossa ja aluksessa. Tiedot laivan operointiajoista, kulusta, koneiston käytöstä ja kulutuksesta tallennetaan asianmukaisesti päiväkirjoihin. Automaattinen tiedonkeruu rajoittui useimmissa tapauksissa sähköisen karttajärjestelmän tai integroidun navigointijärjestelmän tallentamiin tietoihin, sekä hälytysjärjestelmän tallentamaan hälytyshistoriaan. Oletuksien mukaisesti automaattista tiedonkeruuta toteutettiin enemmän uudemmilla aluksilla. Erityisesti 2010 luvulla ja sen jälkeen valmistuneille aluksille oli asennettu automaatiojärjestelmiä, jotka kykenevät tiedonkeruuseen ja sen tallentamiseen. Joissakin tapauksissa oli mahdollista myös tiedon reaaliaikainen välittäminen maaorganisaation käyttöön.

Manuaalista tiedonkeruuta toteutettiin sekä laivan erilaisten päiväkirjojen muodossa, että toiminnan- ja huollonohjaus-järjestelmien kanssa. Myös aluksilla luodut erilaiset taulukot ja listat olivat varsin yleisiä.

Huoltotöiden osalta tiedon tallennus rajoittui pitkälti suunnitellun huolto-ohjelman mukaisten töiden kirjaukseen. Vain harvoissa tapauksissa tallennettiin havaintoja tai niihin perustuen suoritettuja huoltotöitä järjestelmällisesti. Töihin kuluneita henkilö- tai tarvikeresursseja ei tallennettu otannan ainoassakaan yrityksessä tai aluksessa.

Varastonhallinta tarvikkeiden ja varaosien osalta etenkin pienemmillä aluksilla on pitkälti alushenkilöstön vastuulla. Systemaattisimmat varastohallinnan työkalut rajoittuivat aluskohtaisiin inventaariolistoihin, joiden päivittäminen tapahtui pääasiassa harkinnanvaraisesti inventoimalla koko varasto. Käytössä olevissa toiminnanohjausjärjestelmissä usein oli tarjolla varastohallinnan työkaluja, mutta nämä eivät pääosin olleet käytössä. Joissakin varustamoissa on kuitenkin erikseen aluksille määritelty tiettyjen varaosien ja tarvikkeiden minimivarastointimäärä. Tarkempaa kulutuskirjanpitoa noudatettiin määräysten mukaisesti polttoaineiden, makean veden, öljyjen ja kemikaalien osalta.

#### 4.2.2 Maaorganisaatiolle välitettävä operointidata

Yleisimmin maaorganisaatiolle välitettiin tietoa rahtialuksilta rahdin määrästä, polttoaineenkulutuksesta, sekä komponenttien käyttötunneista. Joissakin varustamoissa käytössä oli toiminnanohjausjärjestelmä, jonka kautta käyttötunti ja kulutustiedot välittyvät, mutta selvästi yleisin tapa oli säännöllisin väliajoin sähköpostitse lähetettävä raportti. Päivittäisessä raportoinnissa välitettäviä tietoja olivat lisäksi säätila, poikkeamat reitistä, merenkululliset tiedot kuten sijainti ja nopeus, suunnitellut miehistönvaihdot ja muut ajankohtaiset asiat.

Pienellä osalla varustamoita oli käytössä etävalvontaohjelmistoja, jotka välittivät laivan automaatiojärjestelmän tietoja maaorganisaation käyttöön. Näitä järjestelmiä hyödynnettiin vain uusimmissa aluksissa, joihin ne oli pääosin jo toimitusvaiheessa asennettu. Haastatteluissa ei tullut ilmi alusta, johon olisi

jälkiasennettu etävalvontajärjestelmiä, vaikka mielenkiintoa etenkin polttoaineenkulutuksen reaaliaikaiseen etäseurantaan oli. Useampi varustamon edustaja mainitsi polttoaineenkulutuksen ja muiden energiatehokkuuden mittareiden etävalvonnan olevan ajankohtaisia asioita, joiden käyttöönotto on työn alla.

#### 4.3 Kerätyn datan hyödyntäminen

Nykyajan tiedonkeruun mahdollisuuksiin nähden havaittiin, että tutkimuksen kohteena olleissa varustamoissa tietoa hyödynnetään melko niukasti. Kuitenkin tarkasteltavaksi valittu tieto on valittu harkiten ja sitä hyödynnetään sekä päätöksenteossa, että vianhaussa. Systemaattinen operointidatan keruu ja analysointi kehittynein menetelmin oli harvinaista.

##### 4.3.1 Ohjelmistot operoinnin tukena

Useimmissa haastatelluissa aluksissa ja varustamoissa oli käytössä toiminnanohjausohjelmisto. Ohjelmiston laajuus ja sen ominaisuuksien hyödyntämisaste vaihteli varustamokohtaisesti. Jokaisessa tapauksessa käytössä oli turvallisuusjohtamisjärjestelmän dokumentaatio, suunnitellut huollot ja niiden seuranta, säännölliset tarkastukset ja hankinta.

Oli hyvin yleistä, että ohjelmiston kaikki ominaisuudet eivät olleet tehokkaassa käytössä. Monet puutteet voitiin keskusteluissa jäljittää käyttöönottovaiheen ongelmiin. Osasta ohjelmistojen ominaisuuksista käyttäjillä ei ollut riittävästi tietoa, osa koettiin liian työlääksi ottaa käyttöön jälkikäteen ja joistakin ominaisuuksista saatavat hyödyt eivät olleet käyttäjän näkökulmasta lisääntyneen työtaakan arvoisia.

#### 4.3.2 Huoltotarve-ennakointi

Systemaattinen kerätyn tiedon analysointi laitteiston kunnan kehityksen ja huoltotarpeen ennakoimiseksi ei ollut haastatelluilla aluksilla käytössä. Kerätyn tiedon pitkäaikainen analysointi ja kehittyvien trendien seuranta on kuitenkin hyvin tunnettu tapa havaita kehittyviä ongelmia. Tutkimukseen osallistuneiden varustamojen keskuudessa huoltotarpeen ja elinkaaren ennakointi oli käytössä tai suunnitteilla komponenttien osalta, jotka ovat taloudellisesti kriittisessä asemassa toiminnan osalta. Esimerkiksi lastinkäsittelylaitteiden suuri merkitys liiketoiminnan kannattavuuteen korosti halua tehdä ennakoivaa huoltoa, jota ei laitteelle erikseen vaadittu tehtävän.

Yleisimmin mainituiksi tulivat nopeuden ja polttoaineenkulutuksen tai käytettävän konetehon suhde, jonka perusteella arvioitiin aluksen pohjan kasvuston tilaa. Myös öljyanalyyseja hyödynnettiin yleisesti, jotta koneiden ja vaihteistojen kunnosta voitiin saada viitteitä. Muilta osin varustamot luottivat alushenkilöstön kykyyn arvioida mittausarvoja ja havaita niistä ilmeneviä ongelmia riittävässä määrin.

#### 4.3.3 Kulutusennakointi

Yhdessäkään kohteessa ei toteutettu tehtäviin kuluihin henkilöresurssien seuranta systemaattisesti. Normaalisissa operoinnissa työaika suunnitellaan harvoin niin järjestelmällisesti, että tiedolle olisi tarvetta. Lisäksi alushenkilöstö koki tehtäviin kuluvan ajan olevan vaihtelevien olosuhteiden ja tekijöiden takia liian tapauskohtainen, että sitä olisi järkevää seurata.

Vastaavasti tarvikemenekin seuranta ei useissa aluksissa toteutettu. Keskustelua herätti varastohallinnan käyttöönotto. Useimmat haastateltavat kokivat ajantasaisen varastoinventaarion olevan tarpeellinen tieto. Joskin sen koettiin useiden käyttäjien johdosta lisäävän tarpeetonta työtaakkaa ja olevan epäluotettava. Käytössä olevien toiminnanohjausohjelmistojen liittyvät ominaisuudet, kuten inventaario ja tarvikkeiden kohdentaminen aluksen



komponentteihin oli jäänyt käyttöönottovaiheessa tekemättä ja aluksilla sen käyttöönotto jälkikäteen koettiin liian työlääksi.

#### 4.3.4 Energiaoptimointi

Hakurahtialuksilla rahtaustilanne vaihtelee voimakkaasti lyhyelläkin varoitusaajalla tarjolla olevien laivojen ja lastien vaihdellessa aluekohtaisesti. Linjaliikenteen aluksilla satamaoperaatiot voidaan vakioda ja ennustettavuus on hyvä. Hakurahtiliikenteessä aikataulumuutokset muuttuvien muun muassa satama-aikojen takia aiheuttavat alusten operoijille optimointihaasteen, jonka reagoinnin on oltava nopeaa. Optimointitarkoituksiin on saatavilla erilaisia ohjelmistoja, jotka tukevat päätöksenteossa ja antavat palautetta operoinnin onnistumisesta. Kaikilla yrityksillä ei tällaisia ohjelmistoja ole kuitenkaan käytössä, eivätkä ne vastaa täysin operointiosaston tarpeita.

Polttoainekulutuksen osalta optimointia aluksilla suoritettiin pääosin päällystön harkinnan mukaisesti. Perusteet taloudellisen ajonopeuden, sääreitityksen ja reittivalinnan osalta ovat hyvin merenkulkijoiden tiedossa. Systemaattinen analysointi harvoin kuitenkaan oli käytössä ja päällystölle ei ollut tarjolla mitattua palautetta optimoinnin onnistumisesta. Useissa tapauksissa taloudellisen kulkunopeuden edelle menevät alushenkilöstön lepoajat, alukselle suunniteltu aikataulu, sääolosuhteet ja jopa päällystön henkilökohtaiset intressit. Yleisesti voitiin havaita että varustamojen puuttuminen alusten polttoaineoptimointiin oli kannustavaa, mutta niukkaa.

#### 4.4 Kehityssuunnat

Suoritetuissa haastatteluissa keskusteltiin lisäksi, millaiselle tiedolle ja ominaisuuksille toiminnan suunnittelussa ja päivittäisessä työssä olisi käyttöä. Näkökulmat aluksilla ja maaorganisaatioissa olivat pääosin hyvin yhteneviä. Eriäväisyydet löytyivät taloudellisten vaikutusten tarkastelusta. Alushenkilöstön

ammattitaitoon ongelmien havaitsemisessa ja ratkaisemisessa luotettiin runsaasti.

Yleisesti ottaen saavutettava taloudellinen hyöty, käyttöönoton helppous, työkuorman väheneminen ja kohtuullinen hinta olivat avainasemassa mielenkiinnossa kaikkia esitettyjä kehitysideoita kohtaan.

#### 4.4.1 Kuntoanalytiikka ja Digital twin

Tietoisuus todellisuuden simulointimahdollisuuksista vaihteli haastatellun henkilöstön keskuudessa. Kiinnostus tarveperusteiseen huoltoon oli suurta, mutta keinot sen saavuttamiseksi olivat vielä laajalti tuntemattomia.

Mielenkiintoa reaaliaikaisen kuntoanalytiikkaan löytyi erityisesti varustamojen maaorganisaatioista, joskin jo käytössä olevien alusten ja pienten varustamoiden kohdalla investoinnin ei uskottu olevan kannattava. Varustamot joilla laivasto on suurempi tai on uudisrakennushankkeita, mielenkiinto tekniikan hyödyntämiseen oli suurempi.

Keskustellessa mielenkiinnosta alusten reaaliaikaisen kuntoanalytiikan käyttöönottoon, keskeisiksi tekijöiksi nousivat asennuksen hinta, saavutettavat taloudelliset säästöt, vaikutus työtaakkaan, järjestelmän luotettavuus, sekä luokituslaitosten hyväksyntä. Käytössä oleviin aluksiin jälkiasennettavan järjestelmän tulisi olla kohtuuhintainen, helposti käyttöönotettava ja tuottaa merkittäviä säästöjä lyhyessä ajassa. Uudisrakenteissa asennettavalle järjestelmälle hyväksyttiin varustamoissa pidempi investoinnin takaisinmaksuaika, mutta myös odotukset järjestelmältä saataville ominaisuuksille olivat korkeammat.

#### 4.4.2 Dokumentaatio

Yksimielisesti laitteistodokumentaation saavutettavuus koettiin tärkeäksi ja parannettavaksi kohteeksi. Sähköisen käyttö- ja huolto-ohjekirjaston kehitys helppokäyttöiseksi ja laivaston laajuiseksi koettiin hyödylliseksi hankkeeksi, jolla

käytännön työnteko helpottuisi ja nopeutuisi. Olennaisia ominaisuuksia olisivat tarvittavien dokumenttien helppo löydettävyys ja niiden saaminen työpisteelle vaikuttamatta alkuperäisen dokumentin laatuun. Lisäksi työkohtaiset tiivistetyt ja helppolukuiset ohjekortit vaikuttaisivat henkilöstön motivaatioon tutustua työn ohjeelliseen toteutustapaan.

Suurimmalla osalla aluksista iso osa merenkulkuun ja turvallisuusjohtamisjärjestelmiin liittyvistä dokumenteista oli siirretty sähköiseen muotoon, vaikka paperisetkin versiot olivat yleisiä.

#### 4.4.3 Varastohallinta ja inventaariot

Isossa osassa pienempiä varustamoita ehdotukset varastohallinnan ja inventoinnin työkaluista eivät saaneet suurta kannatusta. Laivahenkilöstö koki jatkuvien inventaarioiden lisäävän työtaakkaa ja olevan siitäkin huolimatta epäluotettavia. Maaorganisaatiossa varastohallinta koettiin tarpeellisemmaksi. Epävarmuustekijöiksi tunnistettiin useat järjestelmän käyttäjät erilaisista kulttuureista. Haastateltavien keskuudessa ei uskottu jokaisen käyttäjän käyttävän järjestelmää tehokkaasti, joka johtaisi virheellisiin varastosaldoihin ja näin ollen korkeaan riskiin työn epäonnistumisesta tarvikkepuutteen vuoksi. Ennen suunniteltua huoltotoimenpidettä tulisi tarvikkeiden saatavuus varmistaa kaikesta huolimatta hyvissä ajoin, sillä aluksille tarvikkeiden toimitusaika saattaa olla hyvinkin pitkä.

Varastohallinnan erilaiset elektroniset apuvälineet lisäsivät uskoa järjestelmän luotettavuuteen ja käyttäjän motivaatioon. RFID-tunnukset, viiva- ja QR koodit ja näitä hyödyntävät laitteet, sekä koneoppimista hyödyntävät älypuhelinsovellukset helpottaisivat tarvikkeen tai varaosan kirjausta järjestelmään. Investointikustannuksilla saavutettavan hyödyn ei kuitenkaan uskottu tukevan hankintaa etenkin pienemmissä varustamoissa ja pienillä aluksilla. Suuremmissa yrityksissä tarvikemenekin seuranta- ja ennakointityökalut vaikuttivat herättävän kiinnostusta, ellei niitä ollut jo käytössä.

## 5 Pohdintaa

### 5.1 Huomioita

#### 5.1.1 Tiedonkeruun yhtenäistäminen yrityksissä

Tutkimus osoitti useilla aluksilla olevan alushenkilöstön itse luomia taulukoita ja listoja, joilla pidetään kirjaa erilaisista aluksen toimintaan liittyvistä tiedoista, kuten vanhenemispäivämääristä, inventaarioista jne. Näiden tiedostojen käyttö rajoittuu usein vain alukselle, jolla ne on luotu. Tietojen hallinta yrityksen laivaston kattavalla yhtenäisellä järjestelmällä oletettavasti keventäisi työtaakkaa, parantaisi tehokkuutta ja mahdollistaisi miehistön vaivattomat siirrot alusten välillä tarvittaessa. Huolellisesti ja ammattitaidolla kehitetty järjestelmä olisi toimintavarmempi, varmistaisi tietojen saatavuuden ja vähentäisi sekä turhaa työtaakkaa, että virheen riskiä. Useimmissa aluksissa tällaisilla ominaisuuksilla varusteltuja ohjelmistoja onkin käytettävissä. Tutkimuksessa havaittu käytössä olevien järjestelmien puutteellinen käyttöönotto ja käyttäminen hyödyntämättä niiden kaikkia ominaisuuksia kielii puutteellisesta motivaatiosta toiminnan kehittämiseen tällä osa-alueella, sekä aluksilla että maaorganisaatiossa.

Huomioitavaa ohjelmistojen kehityksessä ja käyttöönotossa on järjestelmiä käyttävien merenkulkijoiden tyypillisesti korkea ikä ja uratausta, jossa työkuorma on siirtynyt viimeisinä vuosikymmeninä kasvavassa määrin suorittavasta työstä administratiivisiin tehtäviin. Poulsen et. al. tutkimuksessaan (2022) havaitsivat myös ammattitaidon ja yleisen muutosvastarinnan aiheuttavan haastetta optimointijärjestelmien käyttöönotolle.

#### 5.1.2 Uudisrakennelaivan varustelu tulevaisuuden tarpeisiin

Tutkimuksessa havaittiin, että verrattain uusissakin aluksissa saattaa instrumentointi olla jätetty vaatimusten edellyttämälle vähimmäistasolle.

Yleisesti ottaen kaapelivedot ja instrumentointi on merkittävästi edullisempaa laivan rakennusvaiheessa, kuin jälkiasennuksena. Olisi edullista rakentaa ainakin valmius laivan automaatiojärjestelmien yhdistämiseksi tiedonkeruutarkoituksessa. Asianmukaiset kaapelivedot ja laitevalinnat yhdistettävyyden huomioiden tukisivat tulevaisuuden kehitystarpeita kiristyvien markkinoiden ja kovenevan kilpailun vaatiessa entistä tehokkaampaa operointia logistiikan kaikilta osa-alueilta. Jälkimarkkinoilta hankittavan optimointiohjelmiston käyttöönottoa tehostaisi entisestään tallentimen asennus, joka keräisi aluksen automaatiojärjestelmistä saatavat tiedot käyttöönotosta lähtien. Näin optimointikohteita voidaan määrittää ohjelmiston käyttöönotosta lähtien, ilman tarvetta pitkälle tiedonkeruujaksolle järjestelmän asennuksen jälkeen, jolla määritellään aluksen normaalit operointiparametrit.

### 5.1.3 Operatiiviset valinnat energiatehokkuuden ympärillä

Tyypillisesti nykyisessä vanhanaikaisessa sopimusjärjestelmässä ehdot eri osapuolien välillä ajavat energiatehokkuuden kannalta epäoptimaalisiin valintoihin. Hakurahtiliikenteessä saatetaan ajaa suurella kulutuksella kiireiseen satamaan, jossa joudutaan odottamaan lastinkäsittelyvuoroa päiviä, ellei jopa viikkoja. Odotusajalta maksettava korvaus on usein korkeampi kuin suuremman polttoaineenkulutuksen aiheuttamat kustannukset. Tästä syystä olisi merkittävä kehitysaskel luoda luotettavat tavat jakaa energiatehokkaalla, polttoainetta säästävällä, operoinnilla saavutettavat taloudelliset hyödyt kaikkien rahtauksen osapuolien kesken, jolloin taloudelliset intressit tukisivat energiatehokasta ja ympäristöystävällistä toimintatapaa. (Ahokas, 2019) Työkaluja, kuten virtuaalinen ETA, joka perustuu laskennallisesti parhaaseen mahdolliseen saapumisaikaan satama-alueelle, on alettu ottaa käyttöön. Näin voidaan saapua satamaan vasta sen ollessa valmis lastioperaatioihin säästäen polttoainekuluissa. Odotusaika lasketaan kuitenkin virtuaalisen saapumisajan perusteella, jolloin taloudellinen kulkunopeus on laivalle kannattavaa.

## 5.2 Lopuksi

Aluksilla käytettävä mittaustekniikka, saavutettavan tiedon määrä, sekä tavat hyödyntää tietoa ovat monialainen ja hyvin laaja kokonaisuus, joka tarjoaa merkittäviä taloudellisia ja ympäristötekniisiä mahdollisuuksia merenkulkualalle. Työssä saavutettu aluskanta oli rajallinen, mutta sen koettiin antavan hyvä yleiskuva olemassa olevien kuivarahtialusten nykytilasta ja varustamojen näkemyksistä tarpeeseen kehittää toimintaa vastaisuudessakin.

Tutkimuksen otannan laajentaminen Ro-Ro lastialuksiin tarjoaisi laajempaa tietoa Suomalaisista lastialuksista. Kyseisen alusluokan edustajia ei tutkimusta tehdessä kuitenkaan saavutettu. Työn tekohetkellä Suomeen on tilattu runsaasti uutta tonnistoja, jonka varustelutasoon ei työssä perehdytty. Tutkitun laivaston uusimpiin trendeihin perehtyminen näiden uudisrakennelaivojen osalta tarjoaisi varmasti ajankohtaisempaa tietoa operointidatan hyödyntämisestä ja tavoitteista.

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää toimeksiantajalle operoinnin optimointiin saatavissa oleva tiedon määrä ja sen käytössä olevat hyödyntämistavat kohdealuksilla. Suomalaisten käytössä olevien kuivalastialusten osalta saatiin hyvä kuva yleisestä mittaustekniikan tasosta eri-ikäisillä aluksilla ja kerätyn tiedon hyödyntämisestä. Työn täydentämiseksi kattamaan kauppalaivastoa laajemmin, tulisi tutkimusta jatkaa muilla alustyypeillä ja perehtyä tekeillä olevien uudisrakennelaivojen varustelutasoon.

## Lähteet

ABB, 2022a. *Marine instrumentation and analytical solutions*. [Online]

Available at: <https://new.abb.com/products/measurement-products/marine-solutions>

[Haettu 14 12 2022].

ABB, 2022b. *Emission monitoring*. [Online]

Available at: <https://new.abb.com/marine/energy-efficiency/energy-handbook/emission-monitoring>

[Haettu 14 12 2022].

ABB, 2022c. *Combustion pressure under control at Mærsk Mc-Kinney Møller*.

[Online]

Available at: <https://new.abb.com/products/measurement-products/measurement-made-easy/combustion-pressure-under-control-at-maersk-mc-kinney-moller>

[Haettu 14 12 2022].

Afni, C. R. D., 2022. Cybersecurity - Spotting the near miss. *Suomen merenkulku*, 105(2).

Ahokas, M.-M., 2019. *Analysis of voyage optimization*, Helsinki: Aalto University - School of engineering.

Anias, T., 2022. *Keskustelu. Ylikonemestari Tommi Aniasta haastatteli 20.11.2022 Väinö Leimu..* Kokkola: s.n.

Anish, 2019. *Marine insight - How to Test Lube Oil (Lubricating Oil) Onboard Ship?*. [Online]

Available at: <https://www.marineinsight.com/guidelines/how-to-test-lube-oil-lubricating-oil-onboard-ship/>

[Haettu 05 12 2022].

Bialas, M., 2021. *Big data in maritime industry*. [Online]

Available at: <https://vesselautomation.com/big-data-in-maritime-industry/>

[Haettu 25 11 2022].

Chelioti, M., Lazakis, I. & Theotokatos, G., 2020. Machine learning and data-driven fault detection for ship systems operations. *Ocean engineering*, Osa/vuosikerta 216.

Chen, D., Tang, T. & Yao, Y., 2022. Research on prediction algorithm of ship equipment health condition. *Ocean Engineering*, Osa/vuosikerta 249.

Coraddu, A., Oneto, L., Baldi, F. & Anguita, D., 2017. Vessels fuel consumption forecast and trim optimisation: A data analytics. *Ocean Engineering*, Osa/vuosikerta 130, pp. 351-370.

Coraddu, A. ym., 2019. Data-driven ship digital twin for estimating the speed loss caused by the marine fouling. *Ocean Engineering*, Osa/vuosikerta 186.

Dalheim, Ø. Ø. & Steen, S., 2020. Preparation of in-service measurement data for ship operation and performance analysis. *Ocean Engineering*, Osa/vuosikerta 212.

Danelec, 2022. *Danelec products*. [Online]

Available at: <https://www.danelec.com/products/maritime-iot-infrastructure/danelecconnect/#downloads>

[Haettu 29 12 2022].

DNA Business, 2022a. *DNA Yrityksille blogi - lisätty todellisuus säästää rutkasti rahaa kunnossapidossa*. [Online]

Available at: <https://www.dna.fi/yrityksille/blogi/-/blogs/lisatty-todellisuus-saastaa-rutkasti-rahaa-kunnossapidossa>

[Haettu 03 10 2022].

DNA Business, 2022b. *Yllättävän yksinkertaista Podcast, 1. Reunalaskenta: Pää pilvissä vai kenties lokaalia kapasiteettia reunalla*. Podcast Spotify suoratoistopalvelussa: Viitattu 18.11.2022.



DNV, 2021. *DNV-CG-0557 - Data-driven verification*. [Online]  
Available at: <https://rules.dnv.com/>  
[Haettu 09 2022].

DNV, 2022. *Part 6 Additional class notations - Chapter 5 Equipment and design features*. [Online]  
Available at: <https://rules.dnv.com/>  
[Haettu 08 2022].

DNV-GL, 2020. *DNV-CG-0564 - Data collection infrastructure*. [Online]  
Available at: <https://rules.dnv.com/>  
[Haettu 08 2022].

Emerson, 2017. *Integrated control and monitoring systems*. [Online]  
Available at: <https://www.emerson.com/fi-fi/industries/automation/marine/marine-systems-solution/marine-integrated-control-monitoring-systems>  
[Haettu 31 01 2023].

Gkerekos, C., Lazakis, I. & Theotokatos, G., 2016. *Ship Machinery Condition Monitoring using Vibration Data through Supervised Learning*. Glasgow, ResearchGate.

International Maritime Organization, IMO, 1995. *RESOLUTION A.817(19) Performance standards for electronic chart display and information systems (ECDIS)*. s.l., International Maritime Organization, IMO.

International Maritime Organization, IMO, 2012. *RESOLUTION MSC.333(90), Annex 21 Adoption of revised performance standards for shipborne voyage data recorders (VDRs)*. s.l., International Maritime Organization, IMO.

International Maritime Organization, IMO, 2020. *SOLAS, Convention for the safety of life at sea*. s.l.:International Maritime Organization, IMO.

Lehto, P., 2014. *Laiva-automaation suunnittelun ohjeistus*, Turku: Turun ammattikorkeakoulu.

Lindholm, M., 2016. *Älylaiva - Digitalisaatio laivatekniikassa ja merenkulkualalla*, Kotka: KYAMK.

Liu, S. et al., 2020. Rational processing of monitored ship voyage data for improved operation. *Ocean research*, Volume 104.

Li, X. ym., 2022. Data fusion and machine learning for ship fuel efficiency modeling: Part I – Voyage report data and meteorological data. *Communications in Transportation Research*, Osa/vuosikerta 2.

Matikka, K., 2021. *Blog Elomatic*. [Online]  
Available at: <https://blog.elomatic.com/en/evolution-of-autonomous-maritime-operations-driven-by-automation-technology-and-digitalisation/>  
[Haettu 25 11 2022].

Merilaki, 23.11.2018/991 18:4. s.l.:s.n.

Poulsen, R. T. ym., 2022. Energy efficiency in ship operations - Exploring voyage decisions and decision-makers. *Transportation research*, 102(D).

Raptodimos, Y. ym., 2016. Ship sensors data collection & analysis for condition monitoring of ship structures & machinery systems. *Smart Ship Technology*, Issue 26-27.

Rijsdijk, C. D., Alves da Silveira, N. N. M. & Tinga, T. P. d. i., 2020. *Using ship sensor data to achieve smart maintenance?*, s.l.: 15th International Naval Engineering Conference & Exhibition.

Saari, J., 2022. *Keskustelu. Merenkulkuelektronikan asentaja Joni Saarta haastatteli 21.09.2022 Väinö Leimu*. Pori: s.n.

Suomen virallinen tilasto (SVT), 2022. *Kauppalaivasto*. [Online]  
Available at: [http://www.stat.fi/til/klaiv/2022/02/klaiv\\_2022\\_02\\_2022-03-09\\_tie\\_001\\_fi.html](http://www.stat.fi/til/klaiv/2022/02/klaiv_2022_02_2022-03-09_tie_001_fi.html)  
[Haettu 15 12 2022].

Tu, H. ym., 2022. Optimum trim prediction for container ships based on machine learning. *Ocean engineering*, Issue Tarkistettu esijulkaisu.

VanDerHorn, E. & Mahadevan, S., 2021. Digital Twin: Generalization, characterization and implementation. *Decision support systems*, Osa/vuosikerta 145.

Vesselfinder, 2021. *Density maps*. [Online]

Available at: <https://www.vesselfinder.com/>

[Haettu 04 12 2022].

Visala, A., 2020. *Mycourses Aalto*. [Online]

Available at:

[https://mycourses.aalto.fi/pluginfile.php/1190089/mod\\_resource/content/1/2020-MEC-E2005-Ship%20Systems\\_Lecture%209%20-EF2\\_Ship%20automation-1.pdf](https://mycourses.aalto.fi/pluginfile.php/1190089/mod_resource/content/1/2020-MEC-E2005-Ship%20Systems_Lecture%209%20-EF2_Ship%20automation-1.pdf)

[Haettu 25 11 2022].

Walther, L., Rizvanolli, A., Wendebourg, M. & Jahn, C., 2016. Modeling and optimization algorithms in ship weather routing. *International Journal of a-Navigation and Maritime Economy*, Issue 4, pp. 31-45.

Wärtsilä, 2022a. *Propulsion system, propulsion plant - Encyclopedia of Marine and Energy Technology*. [Online]

Available at: <https://www.wartsila.com/encyclopedia/term/propulsion-system-propulsion-plant>

[Haettu 29 12 2022].

Wärtsilä, 2022b. *Ship resistance - Encyclopedia of marine and energy technology*. [Online]

Available at: <https://www.wartsila.com/encyclopedia/term/ship-resistance>

[Haettu 04 12 2022].

## Esimerkkisivu mittaustiedon listauksesta

Esimerkkisivu yksittäin tarkastellulta alukselta saatavan mittaustiedon listauksesta.

General information						G	H	I	J	K	L
<p>Fuel supply system consists of two Alfa Laval separator units. One is designated for MDO or normal diesel oil and the other is for LBO being bio based fuel oil. A Heatmaster booster unit supplies fuel to main engine and has a possibility to change between regular and bio oil. Bio oil viscosity is adjusted by heating to required temperature based on viscosity meter. Fuel supply system will be amended with mixing equipment to mix different fuel types.</p> <p>Ballast water is treated by Ocean Guard ballast treatment system. Treatment process takes place when ballast water is pumped in. On ballast discharge the water properties are being monitored and adjusted if necessary. Ballast system has lone flow meter. Steering gear for regular 3.9m<sup>2</sup> balance type rudder is provided by Van Der Velden. System consists of two hydraulic pumps and two hydraulic cylinders. One pump is supplied from emergency switchboard for redundancy.</p> <p>Hull is protected against growth of marine organisms with cathodic protection.</p> <p>Bilge, ballast, fire fighting and deck wash systems consist of two centrifugal ballast pumps, with deairing pumps, centrifugal emergency fire pump and general service pump acting also as main fire pump, ballast and bilge ejectors driven by fire pump and pneumatic diaphragm pump for bilge pumping. During operation a fixed pressure washer system has been added.</p> <p>300kW central heating boiler provides heat transferred by hot water at 6 bars. Heat is used for fuel tank heating, accommodation heating, heating of aft ship machinery spaces and engine pre heating.</p>											
System	Measurement	Unit	Range	Op.Range	Signal	Source	Comments	Symptom	Fault	Corrective action	
Fuel supply and treatment	Protocols Profibus, modbus, ethernet and analogue				4..20mA HART protocol, or pulse-, or frequency output.	Flow meter		Increased consumption with constant power output	Fuel leak, engine failure	Inspect fuel delivery system and engine operation	
Heatmaster	Fuel oil consumption of main engine	kg/h	0-2000								
	Fuel oil pressure at engine inlet										
	Fuel oil viscosity	cSt	0..25/50mPa	13-15cst	4..20mA	Visco/temp sens		Increasing viscosity	Heating capacity or fuel quality is not sufficient	Inspect reached temperature	
	Fuel oil temperature before heat exchanger										
	Fuel oil temperature after heat exchanger	deg.C	0-200	50-70	4..20mA	Visco/temp sens		Increasing temperature with constant viscosity	Clogged viscosity sensor	Clean/replace sensor	
	Heater output	kW						Increasing power demand with constant temperature	Clogged heating element	Check fuel quality, clean heater element	
	Position switch of heater control valve (heat source)	on/off									
	Counter flushing automatic filter status	on/off						Increased backflush	clogged filter	Clean filter, inspect fuel quality	

## Aihelista maaorganisaatioille

	Yritys/henkilö	Yritys/henkilö 1	Yritys/henkilö 2
Pohjatiedot	Tehtävä		
	Alukset vastuualueella		
	Tyypillinen rahtaustilanne		
	Tyypillinen ikä		
	Alustyyppit		
Tietojärjestelmät/ tiedonhallinta	Onko toiminnanohjausjärjestelmä?		
	Miehitys ja palkat		
	Varastohallinta ja inventaariot		
	Hankinta		
	Turvallisuus ym johtamisjärjestelmä		
	planned maintenance		
	Dokumenttihallinta		
	Muu		
Automaattinen tiedonkeruu	Millaisia automaatiojärjestelmiä		
	Propulsiokoneiston tilatiedot		
	Energiankulutustiedot		
	Muun koneiston tai laitteiden tilatiedot		
	Muuta, esim rungon rasitukset, navigointi		
	Välitetäänkö tietoa automaattisesti maihin		
	Minkälainen järjestelmä tiedonvälityksessä		
Manuaalinen tiedonkeruu	Mitä tietoa kerätään manuaalisesti		
	Käyttötunteja		
	Kulutustiedot		
	Koneiston mittaustiedot		
	Öljyanalysit		
	Suunnittelemattomat työt ja havainnot		
	Lasti ja lastioperaatioiden tiedot		
	Operointiajat eri tehtävissä		
	Henkilö ja tarvikeresurssit säännöllisiin töihin		
	Muuta?		
	Välitetäänkö tietoa maihin		
	Miten välitetään maihin		
	Tiedon hyödyntäminen	Huoltojen vaikutusten seuranta kerätystä tiedosta	
Historian tarkastelu, esim elinkaari/huoltoennuste			
Kehittyvien ongelmien tunnistaminen			
Operoinnin optimointi			
Vaikuttaako tieto käytännön valintoihin			
Osallistuuko maaorganisaatio operointiin			
Kehitystarpeet	Reaaliaikaiset tilatiedot aluksilta		
	Reaaliaikaiset koneiston tilatiedot		
	Reaaliaikaiset varastosaldot		
	Elinkaari ja huoltotarve-ennusteet		
	Kulutusoptimointianalysit		
	Muuta?		

## Aihelista alushenkilöstölle

<u>Perustiedot</u>				
	Aluksen tiedot	Nimi	Alus 1	Alus 2
		Valmistumisvuosi		
		Alkuperäinen lippuvaltio		
		Rakentanut telakka		
		Peruskorjaukset		
		Nykyisellä omistajalla vuodesta?		
		Tietojärjestelmät käytössä		
<u>Kerättävä operointidata</u>				
Kerättävät tiedot	Automaatio-järjestelmät	AMS / E0 konehuone		
		Power management system		
		Int. Automation system		
		Int. Navigation system		
		Muu?		
	Pääkone	Lukumäärä		
		Malli		
		Teho [kW]		
		Polttoaine		
		Pakokaasun käsittely?		
		Kaukovalvonta		
		-Käyntitieto		
		-Hälytystiedot		
		-Mittaukset		
		Propulsiojärjestelmä	Potkurityyppi FPP, CPP, Muu?	
	Mekaaninen vai sähköinen?			
	Akseliveto vai potkurilaite?			
	Mittaukset:			
	-Potkuriakselin nopeus			
	-Vääntömomentti			
	-Työntö			
	-Sähköteho			
	-Muu			
	PTI/PTO?			
	Mittaukset:			
	-Taajuus			
	-Teho sisään/ulos			
	-Gen. lämpötila			
	-Muu?			
	Thrus terit	Keulassa? [kW]		
		Perässä? [kW]		
	Apukoneet	Lukumäärä		
		Malli		

Kerättävät tiedot		Teho [kW]		
		Polttoaine		
		Pakokaasun käsittely?		
		Kaukovalvonta		
		-Käyntitieto		
		-Hälytystiedot		
		-Mittaukset		
	Hätä- generaattori	Malli		
		Teho [kW]		
	Polttoaineen esikäsittely	Separointi		
		Suodatus		
		Kaukovalvonta?		
		-Hälytystiedot		
		-Operointitiedot		
		Syöttölaitteet		
		-Lämmitys tankeissa ja linjoissa?		
		-viskositeetin säätö?		
		Kaukovalvonta?		
		-Hälytystiedot		
	-Operointitiedot			
	Voitelu- öljyn	Separointi		
		Suodatus		
	Jäähdytys- järjestelmät	Lämmönvaihtimet		
		Mittaukset:		
		-Lämpötilaero		
		-Lämpötilat		
		-Paine-ero		
	Navigointi- järjestelmät	Integroitu vai erillislaitteet?		
		ECDIS		
		Tiedonsiirtorajapinta		
		Automaatiojärjestelmässä?		
		Hälytysjärjestelmässä?		
	Matkatiedot	Lokikirja paperinen vai sähköinen		
		Kerätäänkö tietoja:		
		-Lastimäärä		
-Syväydet				
-Säätila				
-Jäätilanne				
-Polttoaineenkulutus				
Työsuoritteet	Suunnitellaanko:			
	-Tehtävään kuluva aika			
	-Tarvike ja varaosamenekki			
	Tallennetaanko:			
	-Kuluneet henkilötyötunnit			
	-Todellinen tarvikemenekki			

<u>Operointidatan hyödyntäminen</u>				
Optimointi	Työkalut	Kaupallinen järjestelmä		
		Excel/ vastaavat		
	Merenkulku	Sääreititys		
		Nopeusvalinta perusteet		
		Trimmin vaikutus kulutukseen		
		Lastitilanteen vaikutus vastukseen		
	Voimailaitos	Käytössä voimaa vain tarpeen mukaan?		
		Kulutuksen minimointi		
		Maasyöttö käytössä?		
		Vaihtoehtoiset energiamuodot?		
		Säädetäänkö kulutusta tuotannolle?		
	Operointidata	Suureiden vaikutusten vertailu		
		Historian tarkastelu		
		Huoltojen vaikutusten tarkastelu		
		Ongelmien tekninen diagnosointi		
Vaikuttaako operointiin?				
<u>Kehitystarpeet</u>				
Kehitystarpeet		Reaaliaikaiset aluksen tilatiedot		
		Reaaliaikaiset koneiston tilatiedot		
		Reaaliaikaiset varastosaldot		
		Elinkaari ja huoltotarve-ennusteet		
		Tilaustarve-ennusteet		
		Kulutusoptymointianalyysit		
		Reaaliaikainen tieto koko laivaston tilasta		
		Muu, mikä?		