

Opinnäytetyö (AMK)

Konetekniikka, meritekniikka

2021

Vili Paakkari

**LAIVOJEN
AUTOMAATIOJÄRJESTELMIÄ
KOSKEVIEN SÄÄNTÖJEN JA
MÄÄRÄYSTEN NYKYTILA JA
KEHITYSSUUNNAT**

Opinnäytetyö (AMK) | Tiivistelmä

Turun ammattikorkeakoulu

Konetekniikka, meritekniikka

2021 | 42 sivua

Vili Paakkari

Laivojen automaatiojärjestelmiä koskevien sääntöjen ja määräysten nykytila ja kehityssuunnat

Opinnäytetyön tarkoituksena on tarkastella laivan automaatiojärjestelmiä koskevia nykypäivän säännöksiä ja vertailla kehityssuuntien tuomia hankaluuksia tulevaisuuden säännöstelyssä. Työssä pyritään selvittämään voimassa olevien sääntöjen sovellettavuutta autonomiseen merenkulkuun.

Työssä käsitellään ensin automaation perusteita ja laiva-automaation kehitystä. Tämän jälkeen esitetään laiva-automaation rakennetta ja tutustutaan sen käyttöönottoon. Työ etenee siitä laivojen autonomiaan ja laivateollisuuden tulevaisuutta käsittelevään osioon ja tämänhetkisiin käytössä oleviin sääntöihin. Tässä työssä ei kaikkiin automaatiojärjestelmiä koskeviin sääntöihin ole paneuduttu, vaan työssä esitetään osa säännöistä ja ne esitetään katsauksenomaisesti. Työn tuloksena on saatu yleinen esitys laiva-automaatiosta ja laivojen automaatiojärjestelmiä koskevista säännöistä ja niiden kehityssuunnista.

Asiasanat:

Laiva-automaatio, säännöt, automaatiojärjestelmä

Bachelor's Thesis | Abstract

Turku University of Applied Sciences

Mechanical Engineering | Naval Architecture

2021 | 42 pages

Vili Paakkari

Current state and development of rules and regulations concerning the automation systems of a ship

The purpose of this thesis was to examine current regulations on automation systems for a ship and to compare the inconveniences that developments bring about in terms of future regulation. The thesis aimed to clarify the applicability of the existing rules to autonomous shipping.

First, the basics of automation and the evolution of ship automation are presented. After that, the structure of ship automation is presented and study its introduction. The thesis proceeds then to the autonomy of ships to the section on the future of the shipping industry, and then to the current rules in place. In this thesis, not all rules governing automation systems have been put forward, but some of the rules are presented in the thesis and they are superficially presented. The thesis resulted in a general presentation of the rules for ship automation and ship automation systems and their developments.

Keywords:

Ship automation, regulations, automation system

Sisältö

Käytetyt lyhenteet tai sanasto	6
1 Johdanto	8
2 Laiva-automaatio	9
2.1 Laiva-automaation kehitys	10
2.2 Automaatiojärjestelmien rakenne	12
2.3 Laiva-automaation käyttöönotto	15
3 Laivojen autonomia	17
3.1 Automaation tasot	19
3.2 One Sea	21
4 Säännöt ja määräykset	23
4.1 Konehuone	24
4.2 Safe Return to Port (SRtP)	25
4.3 Kehityssuunnat	26
4.3.1 COLREG	28
4.3.2 Kansallinen lainsäädäntö	29
4.3.3 Kyber- ja ohjelmistoturvallisuus	31
5 Yhteenveto	36
5.1 Tulokset	36
5.2 Pohdinta	39
Lähteet	41

Kuvat

Kuva 1. Wärtsilä Integrated Automation System (WIAS) (Peplinski 2020, 210).	13
Kuva 2. Hälytyksen käsittelyjärjestelmä (Peplinski 2020, 204).	14
Kuva 3. Vikasietoisen verkon rakenne (Peplinski 2020, 205).	15
Kuva 4. Tietoturvan hallinnan tasot (Leppänen ym. 2019, 33).	32
Kuva 5. PDCA-prosessi (DNV n.d).	33
Kuva 6. Laivan kyberjärjestelmät (DNV n.d).	34

Taulukot

Taulukko 1. Automaation tasot merenkulussa (Traficom 2019).	20
Taulukko 2. Automaatiotaso matkan eri vaiheissa (Traficom 2019).	21

Käytetyt lyhenteet tai sanasto

AIS	Automatic Identification System.
BIMCO	Baltic and International Maritime Council.
COLREG	Convention on the International Regulations for Preventing Collisions at Sea.
DIMECC	Digital, Internet, Materials & Engineering Co-Creation.
DNV	Det Norske Veritas.
EAS	Extension Alarm System.
GT	Gross tonnage.
HW	Hardware.
IACS	International Association of Classification Societies.
IAS	Integrated Automation System.
IMO	International Maritime Organization.
ISM	International Safety Management.
ISPS	International Ship and Port Facility Security.
I/O	Input/Output.
MASS	Maritime Autonomous Surface Ships.
MIRG	Maritime Incident Response Group.
PMS	Power Management System.
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition.
SOLAS	Safety of Life at Sea.
STCW	Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers.

SW

Software.

WIAS

Wärtsilä Integrated Automation System.

1 Johdanto

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on saada selvennettyä yleisellä tasolla laiva-automaatiota ja laivan automaatiojärjestelmiä koskevien sääntöjen ja määräysten tämänhetkistä tilannetta ja niiden kehityssuuntia. Työssä perehdytään myös autonomisten alusten tuomiin haasteisiin nykysääntöjen sovellettavuuden kannalta itsenäiseen merenkulkuun.

Laiva-automaatioon liittyvät säännöt on osittain kehitetty vuosikymmeniä sitten, jolloin ei osattu ennustaa merellä seilaavia autonomisia aluksia. Suurin osa nykypäivän säännöistä käsittelee laivaa, joka on miehitetty. Tämä luo ongelmakohdan ja parannustarpeen ajatellessa autonomisia aluksia ja niiden sääntelyä.

Laiva-automaatio on kokonaisuudessaan erittäin laaja käsite ja sen vuoksi työssä on rajattu aihetta käsittelemällä sitä katsauksenomaisesti. Laiva-automaatiota koskevat säännöt perustuvat suuriltaosin miehitettyihin aluksiin. Työssä käsitellään lähdeaineistosta saatujen tietojen perusteella parannuksia ja uudistuksia, joita automaatiota koskevat säännöstelyt vaatisivat mentäessä kohti autonomisia aluksia. Automaatiojärjestelmiä koskevia sääntöjä on esitetty työssä korostamaan niiden tärkeyttä. Työssä ei ole esitetty jokaista automaatiojärjestelmää koskevaa sääntöä ja määräystä, vaan on pyritty esittämään tämänhetkinen sääntöjen tilanne pääpiirteittäin. Kokonaiskuvan saamiseksi on työssä esitelty automaatiota yleisesti ja perehdytty laiva-automaation kehitykseen ja nykytilanteeseen.

2 Laiva-automaatio

Automaatio sana on nykypäivänä hyvin yleinen, mutta silti monet ymmärtävät sen eri tavoilla. Automaatio vaihtelee hyvin paljon eri aloilla ja sen minkä jotkut mieltävät automaatioksi ei välttämättä sisällä juuri mitään tyypillistä piirrettä automaatiolle, kun taas toisaalla ei automaatiosta puhuta ollenkaan, vaikka toiminta sinänsä olisi hyvin automaattista. (Kippo & Tikka 2008, 10.)

Automaation hyödyt ovat erittäin suuret ajatellen ihmisen jaksamisen ja kykyjen kannalta. Ihmisen työtaakkaa saadaan huomattavasti helpotettua, kun laitteita ja prosessien toimintaa voidaan automaattisten säätöjen ja ohjausten avulla hallita. Automaation kehittyessä myös laatua ja luotettavuutta saadaan kehitettyä, kun ihmisen tehtävät saadaan automaatiolla suoritettua. Nykypäivän sovellusten ollessa niin monimutkaisella tasolla, että ihmisen kyky ja nopeus tehtävien suorittamiseen eivät riitä, saadaan automaation avulla tehtävät suoritettua. Automaatiosta on nykypäivänä tullut ihmiselle jokseenkin tuntematonta. Automaatiolla voidaan tehdä ja suorittaa asioita, joita ihminen ei pysty edes havaitsemaan tai tuntemaan. Myös asioita, jotka ihmiselle olisivat liian pieniä tai liian painavia voidaan käsitellä automaation avulla. (Koskinen 2018, 11.)

Edellytyksen automaatiotekniikan kehityksen tasolle, jolla se nykypäivänä on, on tarvinnut hyödyntää tietotekniikan edistymistä. Tietotekniikan kehittyessä myös toimilaitteet, muistipiirit ja tiedonsiirto on ottanut huimia kehitysaskelleita. (Kippo & Tikka 2008, 8.) Automaation toteutustekniikkana käytetään tietotekniikkaa. Tietotekniikasta on tullut nykypäivänä hallitseva toteutustapa, vaikka automaatiota voitaisiin muullakin tavalla toteuttaa. Automaation keskeisimmissä rooleissa on säätö- ja systeemitekniikka, joilla prosessiin tai laitteeseen saadaan laadittua tarvittavat mallit sekä ohjausalgoritmit. (Koskinen 2018, 3.)

Automaation perustana voidaan pitää antureiden avulla tehtyjä mittauksia, koska automaatio pohjautuu mittauksiin. Automaatio säätää ja ohjaa saatujen mittausten perusteella. Tilanteissa, jossa toiminta ei perustu mittauksiin,

voidaan automaatio-sana kyseenalaistaa. Myös tilanteessa, jossa järjestelmästä puuttuu säätö, kerää järjestelmä tällöin pelkästään mittaustuloksia, jolloin sitä voidaan kutsua automaattiseksi tiedonkeruuasemaksi. (Kippo & Tikka 2008, 7.)

Automaatio tarvitsee toimiakseen myös paljon apuvälineitä, joiden avulla se pystyy itsenäisesti toimimaan. Mittaustekniikka yhdistettynä siihen pohjautuvilla antureilla ja lähettimillä antaa automaatiolle tietoa laitteiden toimintojen tilasta. Toimilaitteet ovat automaation apuna, joilla automaatio saa vaikutettua itse kohteeseen. Toimilaite, esimerkiksi sähkömoottori, vaikuttaa ohjattavaan prosessiin toimielimen avulla. On välttämätöntä ymmärtää täysin automaation prosessi tai laitteet ja sen vaaditut toiminnot, jotta onnistunut automaation suunnittelu voidaan toteuttaa. Automaation suunnittelussa tulisi ottaa huomioon helppokäyttöisyys ja helppo kunnossapidettävyyys. (Koskinen 2018, 13.)

2.1 Laiva-automaation kehitys

Laiva-automaation ensimmäinen automaattinen mekanismi rakennettiin 1900-luvun alkupuolella. Mekanismi oli metallinen ruori ”Metal Mike”, ja sen toiminta perustui gyrokompassin avulla ohjattuun toimintaan. Mekanismi käytti hyväkseen takaisinkytkentää ja vahvistuksensäätöä. Mekanismin kehitti amerikkalainen keksijä Elmer Sperry ja se oli ensimmäinen PID-tyyppinen säädin. Vuonna 1922 Nicolas Minorsky julkaisi PID-ohjaimesta ensimmäisen teoreettisen tutkimuksen. Pyrkimyksenään hänellä oli suunnitella automaattinen ohjausjärjestelmä Yhdysvaltain laivastolle. Nämä ensimmäiset autopilotit olivat useasti vain hyödyllisiä aluksen kurssinpitämiseen vakio nopeuksilla, koska parametrien säädöissä ei otettu huomioon vaihtelevia olosuhteita, vaan ne jätettiin kiinteiksi. (Aranda, Armada & De La Cruz 2004, 145.)

Meriteollisuudelle tapahtui merkittäviä asioita vuosina 1910–1970. Laivoissa otettiin käyttöön ensimmäisiä radiolaitteita 1910-luvulla. Radiolaitteilla hoidettiin radiosähkötyksen avulla radioliikennettä, mutta niiden pääasiallinen

käyttöönoton syy oli alusten turvallisuuden takia. Laivojen tutkajärjestelmiä alettiin kehittää varhaisessa vaiheessa. Vauhdittavana tekijänä oli, kun matkustajalaiva Titanic upposi törmättyään jäävuoreen. Toimivaksi laitteeksi tutka saatiin kehitettyä 1930-lvulla. (Matikka 2021.)

Integroitua automaatiota alettiin käyttää vuonna 1970. Järjestelmät olivat pitkään hyvin yksinkertaisia ja tiedonsiirtonopeudet hyvin alhaisia. Edistyksen ansiosta voitiin valvomosta käsin käynnistää sekä pysäyttää moottoreita automaattisesti. Järjestelmiä alettiin ohjaamaan tietokoneen välityksellä, jolloin automaatio alkoi saamaan nykyaikaisen ilmeen. Kaapelien määrä kasvoi laivoissa todella suureksi, koska jokainen I/O kortti jouduttiin tuomaan valvomoon, sillä kenttäväyliä ei käytetty, joka olisi mahdollistanut niiden hajauttamisen kentälle. (Lehto 2014, 8–9.)

Navigointi- sekä AIS-järjestelmiä alettiin kehittää 1980-luvulla. Näiden järjestelmien avulla laivojen tunnistus sekä paikannus olisi mahdollista. Myös nopeus- sekä sijaintitietoja pystyttiin vaihtamaan läheisten alusten kesken. Suurimmat laivat oli 1990-luvun alussa jo hyvin yleisesti varustettu karttanäyttöillä, jotka toimivat satelliittipaikannusten avulla. Satelliittipaikannusten avulla saatiin laivan kulkusuunta ja nopeus näkymään. Karttoja alettiin digitalisoimaan jo 1980-luvulla, jonka jälkeen uudet paikkatiedot tallennettiin sähköisesti. Kehittyvä tietotekniikka mahdollisti myös anturiteknologian kehittymisen, josta seurasi automatisoituva konejärjestelmien ohjaus. (Matikka 2021.)

Nykypäivän laivoissa aluksen lähes jokaista toimintoa ohjataan automaatiojärjestelmän kautta. Aluksen miehistö käytännössä auttaa automaatiota valvomalla sen toimintaa ja tekemällä tarvittaessa korjaavia toimenpiteitä ja käskyjä. Ethernet-verkon ilmestyminen vuoden 2000 alussa on mahdollistanut moninkertaistuneen tiedonsiirron nopeuden. Meriteollisuudessa myös siirryttiin tuolloin käyttämään integroidun mallin sijasta hajautettua mallia. Digitalisaation kehitys on mahdollistanut automaation suuren kehityksen, jonka

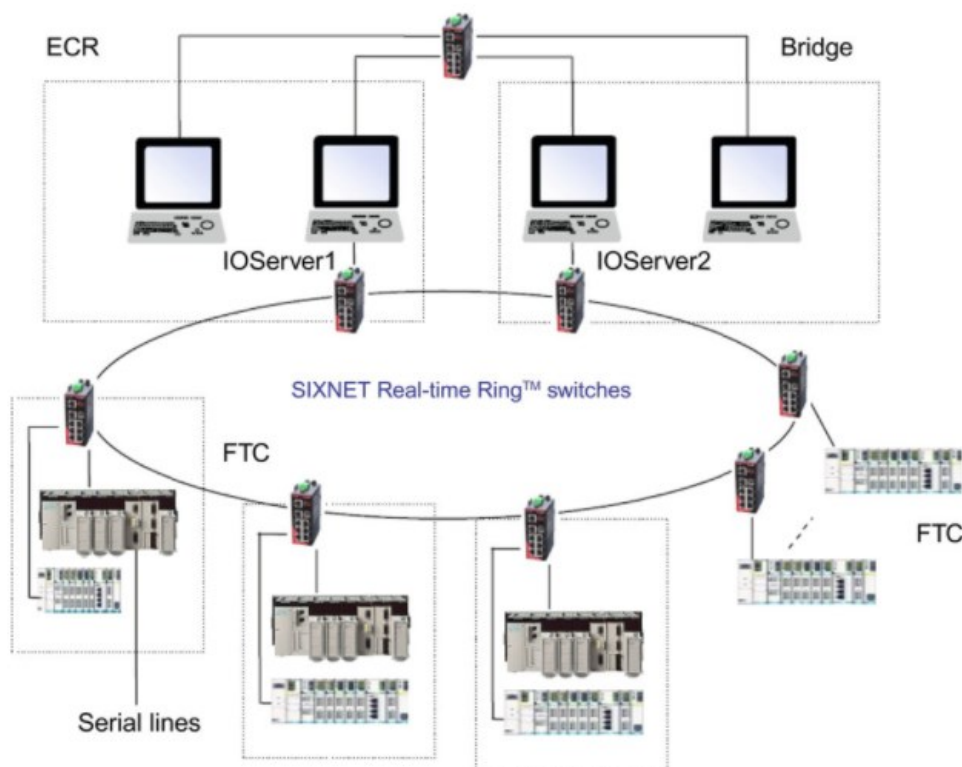
avulla pystytään käyttämään suurempia ohjelmia sekä parantamaan käyttöliittymiä. (Lehto 2014, 9)

2.2 Automaatiojärjestelmien rakenne

Laivojen automaatioiden rakenteet vaihtelevat keskenään.

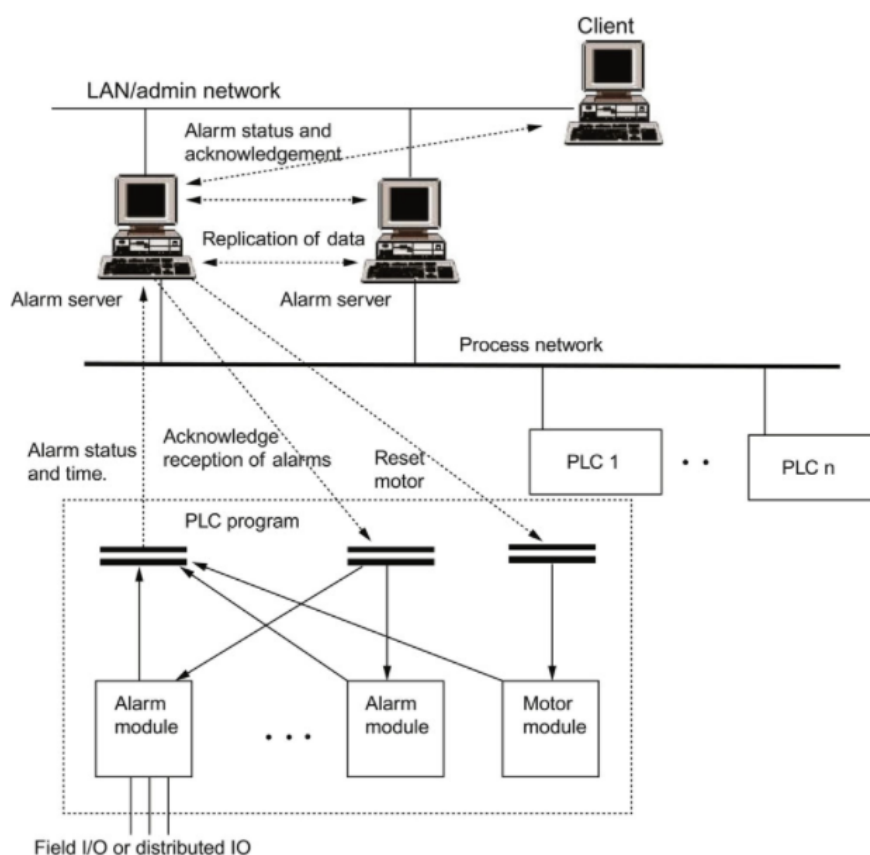
Automaatiojärjestelmät ovat tarkkojen säännösten alla ja järjestelmien toimittajat ovat niiden rakenteista vastuussa. Tässä opinnäytetyössä on otettu tarkasteltavaksi yksi automaatiojärjestelmätoimittajan ratkaisu. Työssä esitellään Wärtsilän kehittämän automaatiojärjestelmän rakennetta.

Wärtsilän integroitu automaatiojärjestelmä (WIAS), rakentuu tietokoneista, jossa prosessien visualisointi ja prosessien hallinta hoidetaan monitorien avulla (kuva 1). Järjestelmässä käytetään prosessointiyksiköinä, ohjelmoitavia logiikkaohjaimia. Tietokoneet sekä ohjaimet kytketään toisiinsa rengasverkon kautta. IO1- ja IO2 palvelimet on kytketty prosessiverkkoon. Ne ohjelmoidaan niin, että ne pystyvät samanaikaisesti hallinnoimaan kaikkia tietoja, kuten hälytyksiä. Tietokoneet toimivat laivassa operaattoriasemina, ja ne on kytketty ohjelmaan, joka on valvonta- ja tiedonkeruuohjelmisto eli (SCADA). (Peplinski 2020, 204.)



Kuva 1. Wärtsilä Integrated Automation System (WIAS) (Peplinski 2020, 210).

Wärtsilän hälytysten käsittelyjärjestelmän perustoimintoihin lukeutuu hälytys- ja ohjaustoiminnot (kuva 2). Hälytystoiminnot on sisällytetty kenttä I/O:lle tai hajautetulle I/O:lle, ja sieltä ne on siirretty ohjelmoitavalle logiikkaohjaimelle. Hälytykset on laivoissa jaoteltu kiireellisyyksien mukaan seuraavasti: kriittinen hälytys, hälytys, ennakkovaroitus ja torjuttuhälytys. Hälytykset tulevat näkyviin monitorissa hälytyslistana, jossa uudet hälytykset ovat listan kärjessä, tunnistamattomat hälytykset näkyvät listassa vilkkuvana. Hälytykset säilyvät hälytyslistassa, kunnes hälytys on kuitattu ja tilanne on palautunut normaaliksi. (Peplinski 2020, 210.)

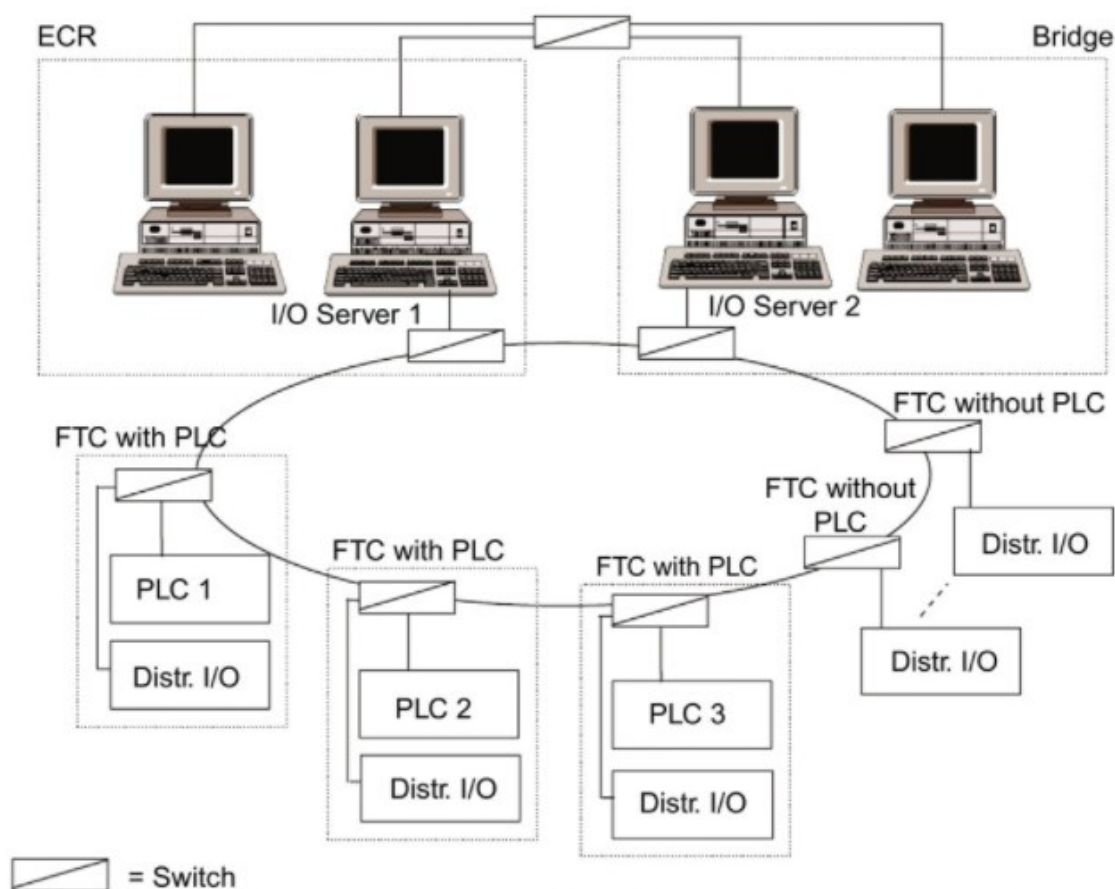


Kuva 2. Hälytyksen käsittelyjärjestelmä (Peplinski 2020, 204).

Vikasietoisen verkon rakenne on esitetty seuraavana (kuva 3). Vikasietoinen verkko yhdistää palvelinasemat I/O 1 ja 2, sekä kaikki ohjelmoitavat logiikkaohjaimet. Verkon rakenteena on 100 Mb:n lähiverkko. Lähiverkossa kaikki järjestelmään liitetyt kytkimet toimivat viansietotilassa, jolloin normaalitilanteessa kytkimien välisissä yhteyksissä yksi jokaisen yhteyden kytkimistä on varmuuskopioitilassa. Järjestelmän havaitessa virheen jossakin muun verkon toiminnassa, aktivoituvat varmuuskopio linkit. Yhteyden menetyksellä useammalla kuin yhdellä yhtymäkohdalla on estetty kytkemällä yhtymäkohdat erilliseen kytkimeen, jos verkkokytkimessä tapahtuu virhe. Kytkinten toimintaa ja tietoja valvotaan I/O-operaattoriasemien kautta. (Peplinski 2020, 204.)

Molempien I/O-palvelinasemien ollessa vikasietoisia pystytään ehkäisemään yksittäisten vikojen aiheuttamat katkokset moottorivalvomon- ja sillan prosessinohjauksessa. Järjestelmässä molemmat palvelimet pystyvät

kommunikoimaan jokaisen logiikkaohjaimen kanssa. Palvelimista toinen on valittuna järjestelmässä ensisijaiseksi ja toinen I/O-palvelin on valmiustilassa. Valmiustilassa oleva palvelin tarkistaa jaksottain yhteyksiä, kun taas ensisijainen palvelin hoitaa tiedonsiirtoa. Palvelinasemista molemmat hoitavat itsenäisesti hälytyksiä, kirjaamalla sekä kuittaamalla. Ohjelmoitavat logiikkaohjaimet pystyvät olemaan yhteydessä toisiinsa sekä useampaan hajautettuun I/O-solmuun täysin riippumattomina I/O-palvelin asemista. (Peplinski 2020, 205.)



Kuva 3. Vikasietoisen verkon rakenne (Peplinski 2020, 205).

2.3 Laiva-automaation käyttöönotto

Laivojen integroidun automaatiojärjestelmän (Integrated Automation System, IAS) käyttöönottoprosessissa järjestelmää testataan tehdas-, laituri- ja

merikokeilla. Automaatiojärjestelmän tulee täyttää tilaajan ja luokituslaitoksen vaatimukset. Käyttöönottoprosessin katsotaan onnistuneen, kun koeohjelmat on suoritettu moitteitta, ilman tilaajan tai luokituslaitoksen huomautuksia.

(Lehtopohja 2021.)

Tehdaskokeita suorittamassa on yleensä mukana telakan oma systeemivastaava, järjestelmän toimittajat, luokituslaitoksen edustaja sekä tilaajan edustajat. Kokeiden tarkoituksena on verifioida, että järjestelmä täyttää luokituslaitoksen ja laivaerittelyn vaatimukset. Tehdaskokeessa automaatiojärjestelmästä testaan aina SW+HW sekä PMS. Tehdaskokeissa voidaan myös mahdollisesti testata muita IAS-järjestelmiä, kuten EAS.

(Lehtopohja 2021.)

Laiturikokeet tehdään automaatiojärjestelmälle, kun se on kokonaisuudessaan laivaan asennettu. Laiturikokeet ovat pakollisia ja virallisia testejä. Järjestelmän toiminnallisuuksia testaan laiturikokeissa yleisellä tasolla ja testattavien alueiden testaukset tehdään pienemmissä osioissa. Laiturikoe sisältää myös lopullisen asennustarkastuksen, jossa alukseen tehdyt kaapeloinnit, mekaaniset asennukset sekä kytkennät tarkastetaan. (Lehtopohja 2021.)

Merikokeet suoritetaan nimensä mukaan merellä, jossa järjestelmää testaan oikeissa meriolosuhteissa eri toimintatilanteissa. Todistetaan järjestelmän toimivuus tilaajalle ja sen täyttävän luokituslaitoksen sekä laivaerittelyn vaatimukset. Laivan PMS järjestelmän tärkeimmät testit suoritetaan merikokeiden aikana. Laiturikokeissa näitä testejä on mahdoton suorittaa. PMS-järjestelmää testataan kuormittamalla mm. propulsiojärjestelmää ja generaattoreita. (Lehtopohja 2021.)

3 Laivojen autonomia

Laiva-automaation kehitys lähivuosina on edennyt huimasti kohti autonomisia aluksia. Kohti autonomiaa mennessä on noussut esiin paljon kysymyksiä ja epäilyitä siitä, että voidaanko koskaan täysin päästä täysin automatisoidulle tasolle merenkulussa. Kysymykset on keskittyneet autonomian kannattavuuteen ja turvallisuuteen, sekä myös miten autonomia voisi mahdollisesti vaikuttaa ihmisten työllisyyteen, jos autonomiset alukset eivät jatkossa tarvitsisi miehistöä mukaansa. (Traficom 2019.)

Kehityksen on tutkittu merkitsevän turvallisempaa merenkulkua.

Kansainvälisten ja kansallisten keskusteluiden edetessä koskien autonomisia aluksia ja niiden turvallisuuksia on tehty selvitys vuonna 2017 IMO:n puolesta mitä muutoksia sääntöihin tarvitaan siirryttäessä autonomisiin aluksiin.

Lähtökohtana sääntöille on, että autonomisten alusten tulee olla vähintään yhtä turvallisia kuin ne tällä hetkellä ovat. (Traficom 2019.)

Merellä työskentely on ihmiselle vaarallinen ammatti, joten ihmisten poistaminen aluksista poistaisi ihmiseen kohdistuvat vaarat, kun työskennellään merellä. Merionnettomuuksia on tutkittu ja verrattu autonomian hyötyihin. On todettu, että suurin osa merenkulun onnettomuuksista ovat olleet ihmisen virheestä johtuvia. Autonomia vähentäisi näiden tutkimusten perusteella merionnettomuuksia, kun ihminen korvattaisiin automaatiolla. Toisaalta ihmisen toimiminen laivalla ei ikinä ole ohjelmoitua vaan ihmisen luovuus ja mukautuminen eri olosuhteisiin ovat puolia, joita automaatiolla on vaikea saavuttaa. On siis hyvin vaikea täysin varmasti sanoa, olisiko autonominen alus turvallisissa tilanteissa, jossa ihmisen luovaa päätöksentekoa vaadittaisiin. (Traficom 2019.)

Merenkulun automaatio asettaa paljon haasteita ja tulee menemään vielä pitkään, että meriliikenne pysyy valvotun autonomian tasolla. Valvotussa autonomiassa aluksen toimintaa valvoo ihminen, laivan komentosillalta tai etävalvomosta. Olosuhteita huomioiden, jossain tilanteissa voidaan sallia laivan siirtymisen täysin itsenäisen kulun toimintoon, jolloin ihminen voi tehdä

muita henkilöstöltä vaadittavia tehtäviä tai vaihtoehtoisesti levätä. (Traficom 2019.)

Teknologian kehitys on tutkimusten perusteella jo tänä päivänä, sillä tasolla, että käytännössä autonomia meriteollisuudessa voitaisiin toteuttaa ja merellä voisi täysin autonominen alus kulkea. Kustannusten on arvioitu pysyvän myös sellaisissa summissa, että teknologian integrointi uusiin aluksiin olisi mahdollista. Ongelmaksi tulee saman teknologian integrointi jo merillä seilaaviin aluksiin, joiden laitekirjot ovat erittäin laajat. (Traficom 2019.)

Tulevaisuudessa merellä voi seilata samanaikaisesti täysin autonomisia aluksia, etäohjauksella toimivia aluksia sekä miehitettyjä aluksia, näiden alusten kohtaamistilanteisiin on pyritty löytämään keinoja ehkäistä alusten törmäykset ja vaaratilanteet. Alusten on pystyttävä ennakoimaan hyvissä ajoin keskenään ja varmistamaan toisen aluksen aiheet. Lainsäädännöllisesti on myös pystyttävä ratkaisemaan, miten alukset toisiaan väistävät ja miten alusten välinen kommunikointi toimii normaali- tai onnettomuustilanteissa. Ongelmatilanteisiin liittyy vielä paljon ratkaisemattomia kysymyksiä, kuten millä tavalla aluksessa sattuva tulipalo tai Black-out-tilanne, jossa laivan sähköntuotanto pysähtyy, saadaan hoidettua. (Traficom 2019.)

Tutkimusten ja testien perusteella on jo tässä vaiheessa pystytty todistamaan autonomisen aluksen kyvyt. Autonomisten alusten ohjelmistojen testauksissa on saatu tuloksia, että ohjelmistot ovat tarpeeksi tehokkaita oikeiden väistöliikkeiden suorittamiseen ja näitä ohjelmistoja voitaisiin myös hyödyntää miehitetyissä aluksissa, joissa ne voisivat tukea miehistön tekemää päätöstä. Mallikokeilla on verrattu ihmisen tekemiä päätöksiä väistötilanteessa suhteessa autonomiseen alukseen. Mallikokeissa autonomisen aluksen oli kyettävä päättämään muiden kokeissa olleiden alusten sijaintien, sekä liikkeiden perusteella tarvittavat manööverit COLREG-sääntöjen mukaan. Tuloksina saatiin, että autonominen alus pystyi toimimaan ihmisen ohjaaman aluksen kanssa onnistuneesti. Kokeessa ilmeni, että ihmisen ohjaama alus teki tarvittavan väistöliikkeen autonomista alusta aiemmin, joka osoitti, että autonominen alus pystyisi liikkumaan tehokkaammin merellä. Myöhempi

väistöliike ei noudattaisi hyvää merimiestapaa ja voisi aiheuttaa epävarmuuksia tosielämän tilanteissa, jossa autonominen- ja miehitetty alus kohtaisivat. Autonomisten alusten tueksi on myös esitetty muita vaihtoehtoja tukemaan aluksen päätöksiä, kuten miehittämättömien lennokkien käyttö. Lennokkien avulla olisi mahdollista saada laajempi tilannekuva muista aluksista ja erityisesti sellaisista kohteista, jotka eivät aluksen kanssa pystyisi kommunikoimaan. (Traficom 2019.)

3.1 Automaation tasot

Automaation tasoille sen tutkimiseksi on esitetty useita luokittelumenetelmiä, joiden mukaan alusten eri toiminnot luokitellaan. Luokittelussa on otettu huomioon aluksen ympäristö, jossa se liikkuu. Ympäristönä voi toimia avomeri, saaristo tai rannikko, huomioon pitää myös ottaa väylän vilkkaus. Luokittelussa yksi merkittävä tekijä on myös miehityksen taso, onko miehistöä jatkuvasti komentosillalla, onko miehistö aluksella, mutta ei jatkuvasti komentosillalla vai onko alus täysin miehittämätön. Yksi luokittelumenetelmistä on autonomian taso, tällä tarkoitetaan sitä, että kuinka itsenäisesti automatiikka hoitaa aluksen toimintoja aluksessa (taulukko 1). Automatiikka voi olla vain avustava tekijä, jolloin miehistö operoi alusta jatkuvasti tai automatiikka voi hoitaa navigoinnin ja miehistö sen sijaan puuttuu operointiin vain tarvittaessa tai automatiikka voi hoitaa operoinnin täysin itsenäisesti, jolloin tätä kutsutaan täyden autonomian tasoksi. (Traficom 2019.)

Taulukko 1. Automaation tasot merenkulussa (Traficom 2019).

Kuvaus	Operaattorin tehtävät
T-1: <i>Automaattitoiminnoilla sekä pää- töksentekoa tukevilla toiminnolla va- rustettua alus</i>	Operaattori on aluksella, ja ohjaa alusta sekä kontrolloi sen toimintoja aluksella.
T-2: <i>Etäohjattava-alus miehistöllä</i>	Operaattori on maissa, ja ohjaa alusta sekä kontrolloi sen toimintoja maista kä- sin. Aluksella oleva miehistö voi tarvitta- essa ottaa aluksen hallintaansa.
T-3: <i>Etäohjattava-alus ilman miehis- töä</i>	Operaattori on maissa, ja ohjaa alusta sekä kontrolloi sen toimintoja maista kä- sin. Aluksella ei ole miehistöä apuna.
T-4: <i>Täysin automatisoitu alus</i>	Operaattorilla ei ole roolia tässä toiminta- mallissa, vaan alus toimii täysin itsenäi- sesti.

Merenkulun automaatiotasot vaihtelevat eri vaiheissa matkaa, automaatiotason on pystyttävä myös mukautumaan poikkeustilanteisiin (taulukko 2).

Nykypäivänä tätä samaa vaihtelua ilmenee satama olosuhteissa, jossa alusta operoidaan manuaalisesti, kun taas navigointiosuuksilla alus käyttää automaatiotasoja hyödykseen. Tilanteiden vaatiessa myös ulkopuoliselle avulle voi mahdollisesti olla tarvetta. Ulkopuolista apua voidaan pyytää esimerkiksi MIRG-ryhmästä. (Traficom 2019.)

Taulukko 2. Automaatiotaso matkan eri vaiheissa (Traficom 2019).

Taso	Satama- manöveeraus	Rannikko- ja saaristonavi- gointi	Avomeri- navigointi	Poikkeus- tilanteet
1	Operointi ja päätöksenteko tapahtuu aluksen miehistön toimesta	Operointi ja päätöksenteko tapahtuu aluksen miehistön toimesta	Operointi ja päätöksenteko tapahtuu aluksen miehistön toimesta	Operointi ja päätöksenteko tapahtuu aluksen miehistön toimesta + esim. MIRC
2	Operointi ja päätöksenteko tapahtuu aluksen miehistön toimesta	Operointi ja päätöksenteko tapahtuu aluksen miehistön toimesta	Operointi ja päätöksenteko tapahtuu etäohjauksena maista	Operointi ja päätöksenteko tapahtuu aluksen miehistön toimesta + esim. MIRC
3	Operointi ja päätöksenteko tapahtuu etäohjauksena maista	Operointi ja päätöksenteko tapahtuu etäohjauksena maista	Alus operoi autonomisesti	Operointi ja päätöksenteko tapahtuu etäohjauksena maista
4	Alus operoi autonomisesti	Alus operoi autonomisesti	Alus operoi autonomisesti	Alus operoi autonomisesti

3.2 One Sea

One Sea on vuonna 2016 yhteistyössä aloitettu korkean profiilin ekosysteemi työ, jossa käytetään alan huippuasiantuntijoita, uusinta tietotekniikkaa sekä liiketoimintaa. One Sea on DIMECC:n johtama, joka on työhön kerännyt meriteollisuuden avaintoimijoita. One Sea-tutkimusyhteistyö hakee mukaansa maailmanlaajuisia jäseniä. Työ on aloitettu tarkoituksenaan luoda vuoteen 2025 mennessä sopiva ympäristö autonomiselle merenkululle. Ekosysteemissä yhteistyötä tekevät on tiedoillaan oman alansa edelläkävijöitä, joiden avulla saadaan varmistettua suorituskykyinen laivausverkosto, joka on erittäin hyvin tutkittu ja testattu. Kilpailu alalla on jatkuvaa ja kovaa, kun meriteollisuuden toimittajat sekä telakat yrittävät löytää ja tarjota laivanvarustajille uusinta digitalisaation kilpailuetua. Ekosysteemi toimii uusille teollisuuden standardeille suunnannäyttäjänä, jossa uudet standardit vastaavat tavoitteita pienentää

meriliikenteen ympäristöjalanjälkeä, minimoida onnettomuudet sekä edistää uusia kaupallisia hankkeita. (About the ecosystem n.d.)

Autonomisuus ja digitalisaatio on muovaamassa meriteollisuuden uudelle tasolle. Nykypäivän meriliikenteen tulevaisuus on autonomisissa aluksissa. Ne toimivat ekosysteemissä, jossa päätökset perustuvat big dataan, älykkäisiin algoritmeihin, tekoälyyn ja äärimmäiseen optimointiin. One Sea on älykäs ympäristö, jossa laitteet analysoivat, lukevat, kommunikoivat ja tekevät päätöksiä big datan perusteella. (About the ecosystem n.d.)

4 Säännöt ja määräykset

Meriteollisuudessa on paljon sääntöjä ja määräyksiä, joita tulee noudattaa. Voidaan sanoa, että jokaiseen laivaan pätee SOLAS ja IMO. SOLAS-dokumentti kohdistuu turvalliseen merenkulkuun, ja se on kansainvälisen merenkulkujärjestö IMO:n ylläpitämä. Luokituslaitokset, kuten DNV, kokoavat säännöistä kokoelmia, jotka taas nojaavat Solakseen. Luokituslaitosten sääntöjä on IMO:n sääntöihin verrattuna helpompi tutkia. Laiva-automaation säännöissä säännöt koskevat suurimmalta osin järjestelmäturvallisuutta ja turvallista merenkulkua. Säännöt saattavat vaihdella alustyyppien kesken huomattavasti. (Nurmi 2017, 4.)

Säännösten velvoitteista on isoin osa määrätty lippuvaltioille. Lippuvaltiolla on velvollisuus määrätä täytäntöön kansainvälisiä normeja vastaavat kansalliset lainsäädännöt. Laivanvarustajille ei voida suoraan kohdistaa kansainvälisen oikeuden mukaisia velvoitteita, joten lippuvaltiot kohdistavat omat kansalliset säädäntönsä heihin. (Ringbom ym. 2020, 56.)

Laiva-automaation kehitystä hidastavana tekijänä on siihen liittyvät säännöt ja määräykset sekä laivojen pitkä käyttöikä. Merenkulun kehityksen mennessä kovaa vauhtia kohti itsenäistä merenkulkua on myös sääntöjä kehitettävä siihen sopiviksi. Ehdotuksena on esitetty, että autonomista merenkulkua varten ei muokattaisi nykyistä sääntelyä vaan itsenäisen merenkulun sääntelyä varten kehitettäisiin uusi IMO:n kiinnitetty asiakirja (Haikkola 2021).

Nykypäivänä laiva-automaatiota koskevia sääntöjä ja määräyksiä on erittäin paljon. Osaksi tämä johtuu siitä, ettei laiva-automaatio nykyään rajoitu pelkästään koneistoon niin kuin ennen vaan siihen kytkeytyy paljon muutakin. (Lehtopohja 2021.) Laivan automaatiojärjestelmiä koskevien sääntöjen hyvänä esimerkkinä voidaan pitää miehittämätöntä konehuonetta ja turvallista satamaan paluuta koskevia sääntöjä. Säännöistä käy hyvin ilmi se, miten sääntöjen avulla pyritään parantamaan turvallisuutta ja ennakoimaan onnettomuuksia.

4.1 Konehuone

SOLAS-säännökset konehuoneelle on jaettu miehitettyyn konehuoneeseen sekä ajoittain miehittämättömään konehuoneeseen. Pääperiaate säännöstelyssä on, että aluksen turvallisuus tulee olla yhtä turvallista molemmissa konehuoneen tilanteissa. SOLAS-säännöissä on määrätty, miten koneiston tulisi toimia tai miten siihen voisi vaikuttaa hätätilanteissa. Säännöt pyrkivät tekemään koneiston käytöstä sellaista, että niiden käyttö olisi mahdollista aina yhdestä paikasta kerrallaan.

Miehitetylle konehuoneelle on määritetty vaatimuksia, jotka koskevat konehuoneen ja komentosillan välistä viestintää, koneiden valvontaa ja siihen liittyviä komentosillalla olevia toimintoja sekä konehuoneen hälytyksiä, jotka koskevat suuriltaosin konemestaria.

Lisäluokan merkintä E0 voidaan myöntää koneistotiloihin silloin, kun aluksen propulsio-ohjausjärjestelmä täyttää SOLAS-yleissopimuksen, SOLAS II-1/E-vaatimukset ja aluksessa hälytykset näkyvät komentosillalla sekä konemestarin tiloissa. Laivan valvontajärjestelmien sekä ohjausjärjestelmien tulee täyttää aluksen turvallisuus kaikissa meriolosuhteissa niin kuin miehitetyn konehuoneen aluksissa. Jotta E0-merkintä voidaan myöntää, tulee aluksessa olevien seuranta- ja valvontajärjestelmien täyttää DNV:n aluksien luokittelua koskevat osan 4 luku 9 säännöt- sekä osan 6 luvun 2 lisäluokan merkinnät. (Peplinski 2020, 62–64.) Säännöksessä (SOLAS II/Part. E) määritellään vaatimukset, jotka koskevat miehittämättömää konehuonetta. Miehittämättömää konehuonetta varten laivan automaatiojärjestelmän ja monitoroinnin tulee olla varmennettu ja laaja. Ohjauksen sekä tiedonkeruun tulee olla reaaliajassa. (Lehtopohja 2021.)

Hälytysjärjestelmän miehittämättömässä konehuoneessa tulee antaa konehälytyksiä konemestarin yleisiin- ja asuintiloihin sekä komentosillalle. Hälytysten on oltava jatkuvia hälytyksiä siihen saakka, että ne kuitataan.

(Peplinski 2020, 41.) Koneistoiloihin liittyvät muut hälytykset koskevat tulipalo- ja tulvimistilanteita, jossa järjestelmän on pystyttävä hälyttämään vaarasta varhaisessa vaiheessa, jotta aikaa jää riittävästi vaadittaville toimenpiteille vaaran ehkäisemiseksi (Peplinski 2020, 40).

Komentosillalla tulee vaatimusten mukaan olla mahdollista propulsijärjestelmän ohjaus, kuten potkurin kallistuksen, työntösuunnan tai nopeuden ohjaus. Lisäksi propulsijärjestelmän vikaantuessa on järjestelmän tehtävä asiasta hälytys ja komentosillalla on oltava propulsikoneiston hätäpysäytys, joka on ohjausjärjestelmästä riippumaton. Järjestelmän tulee olla vikasietoinen ja vakavan vaaratilanteen sattuessa turvajärjestelmällä on poikkeuksena oikeus sammuttaa propulsiojärjestelmä automaattisesti. (Peplinski 2020, 40–42.)

4.2 Safe Return to Port (SRtP)

IMO:n päätöslauselmalla hyväksytty SOLAS-sääntö Safe Return to Port eli SRtP on edellytys matkustaja-aluksille, joiden pituus on vähintään 120 metriä tai aluksille, jossa on kolme tai yli pystysuoraa päävyöhykettä. Sääntö on tehty parantamaan alusten selviytymistä tulipalon tai tulvimisen sattuessa. Säännössä edellytetään, että miehistöllä ja matkustajilla on oltava mahdollisuus pysyä aluksessa turvallisesti sillä välin, kun alus seilaa kohti satamaa, vaikka aluksessa olisi tulipalo tai se tulvisi. Aluksen on tarjottava matkustajille turva-alue, jossa on tietty määritelty asuttavuus sekä ruokailu mahdollisuus. Sääntö käsittelee myös järjestelmän valmiuksia siinä tapauksessa, jossa tuhot ovat niin laajat, että alus joudutaan hylkäämään. (DNVGL 2016.)

Turvallinen satamaan paluu aiheuttaa aluksen suunnittelun kannalta vaikeuksia sen osalta, miten järjestelmien on pysyttävä toimintakuntoisina onnettomuustilanteissa. Suunnittelussa tulee ottaa huomioon järjestelmien turvaaminen vauriotilanteessa tuplaamalla tarvittavat järjestelmät tai varmistettava niiden toiminta muulla tavalla. Suunnittelu turvallisen satamaan paluun osalta sisältää suunniteltavien kohteiden kehittämisen, skenaarioiden määrittämisen onnettomuustilanteissa ja olennaisten järjestelmien arvioinnin,

joiden on tunnustettu olevan kriittisiä, jotta järjestelmien palautus kriittisestä tilasta korjaavien toimenpiteiden johdolla voidaan määritellä. (Deltamarin n.d.)

4.3 Kehityssuunnat

Suurin osa IMO:n laatimista säännöistä on luotu monia vuosikymmeniä sitten, jolloin ei voitu ennakoida säännöissä autonomisiin aluksiin. Säännöistä käy ilmi, ettei yleensä niissä ole laivan miehistöä edellytetty olemaan aluksella, vaan miehistön on aina oletettu olevan aluksella. Säännöt harvemmin kieltävä autonomiset alukset, mutta niitä on osattava tulkita tietyllä tavalla, jotta autonomiset operaatiot voidaan sallia. Valtiot eivät yleensä itse hoida säädösten täytäntöönpanoon liittyviä tehtäviä, vaan ne siirretään valtion viranomaisille tai merenkulun asiantuntijaviranomaisille. (Ringbom ym. 2020, 57.)

Ihmishengen turvallisuudesta merellä vuonna 1974 tehdystä kansainvälisen yleissopimuksen (SOLAS), järjestelmää sovelletaan autonomisiin aluksiin siltä osin kuin ne kansainvälisiä matkoja harjoittavat. SOLAS-yleissopimuksessa ei ole määritelyä alukselle tiettyä yleistä määritelmää, joten yleissopimuksen sovellettavuudelle ei ole MASS-operaatioiden kannalta estettä. (Ringbom ym. 2020, 57.)

Solaksen luvussa II-1 käsitellään alusten rakennetta, osastointia, vakautta, koneistoa ja sähköasennuksia. Laivojen rakenteisiin kohdistuvat vaatimukset eivät ole este miehittämättömälle alukselle. Luvussa käsitellään vaatimuksia, joita on otettava huomioon ajatellessa autonomisia aluksia. Esimerkiksi sääntö 5–1 määrää, että aluksen päällikölle on annettava tarvittavaa informaatiota, joiden mukaan hän voi nopeiden prosessien avulla saada tarkat ohjeet aluksen vakaudesta vaihtelevissa toimintaolosuhteissa. Etäkäytössä olevilla aluksilla tällaiset tiedot on toimitettava kauko-ohjaimelle, kun taas autonomisessa aluksessa, jossa ei kukaan ole heti vastuussa aluksen toiminnasta on kehitettävä tällaisten tietojen käsittelyyn muunlaisia ratkaisuja. Hälytysten sattua, jotka ovat suunniteltu hälyttämään kyseisen aluksen päällikön on mietittävä kauko-ohjattua tai täysin miehittämätöntä alusta. Hälytysten on

hälytettävä samalla tavalla myös etäohjauksessa olevat henkilöt sekä miehittämättömässä laivassa on alus välttämätöntä saada kauko-ohjaimen hallintaan, jotta voidaan toimia hälytyssignaalin mukaan. Säännön 55 mukaan alukseen voidaan tehdä koneiston vaihtoehtoinen suunnittelu, järjestely sekä sähköasennukset, edellyttäen määrättyä arviointia sekä hyväksyntää. (Ringbom ym. 2020, 58.)

Solaksen luku II-2 sisältää määräyksiä palontorjuntaan, -havaitsemiseen ja sammutukseen. Luvussa käydään lisäksi läpi myös aluksen rakenteellisia vaatimuksia, mutta luvun ydin kohdistuu paloturvallisuuteen sekä palohälytysjärjestelmiin (sääntö 7). Aluksella harjoitettavaa koulutusta, harjoittelua ja toimintaa koskevat säännöt 15 ja 16, joiden tarkoituksena on varmistaa, että laivasta vastuussa oleva henkilöstö on kykeneväisiä toimimaan tulipalon sattuessa ja pystyvät hillitsemään sekä torjumaan sitä. Nämä säännöt asettavat haasteita miehistölle, jotka ohjaavat laivaa etänä. Autonomisia laivojen kohdalla luvun tiukka soveltaminen aiheuttaa haasteita, mutta säännöksen 4.1 mukaan on hallinnolla mahdollisuus vapauttaa yksittäinen alus luvun määräyksistä, jos sen kokonaisvaltainen soveltaminen on täysin tarpeetonta. Hallinnon vapautus edellyttää, ettei vapautettu alus saa olla yli 20 merimailin päässä lähimmästä rannasta. (Ringbom ym. 2020, 58–59.)

Hengenpelastuslaitteita sekä pelastusjärjestelyjä, koskevia määräyksiä, käsitellään luvussa III. Luku asettaa laivaan tehtäviä toimintoja, kuten huoltoon koskevia standardeja (sääntö 36). Käsitellessä matkustajia kuljettavia aluksia on otettava huomioon, että on varmistettu matkustajien turvallisuus, oli alus miehitetty tai miehittämätön. Pelastusveneitä koskevien määräysten yhteydessä määrätään säännössä 10, että pelastusveneiden käyttöä ja vesillelaskua varten on oltava riittävästi miehistöä. Vaikka luku sallii suunnittelun ja käytön vaihtoehtoisuuden on miehittämättömässä aluksessa hyvin vaikea noudattaa tätä määräystä ilman, että laivaan lähetetään evakuointijärjestelyihin koulutettuja henkilöitä. (Ringbom ym. 2020, 59.)

Radioviestintää koskevat määräykset käsitellään luvussa (IV-Radioviestintä). Säännössä 1, käsittelee luvun soveltamista lastialuksiin, jotka ovat yli 300 brt.

Luvussa sääntö 12 edellyttää määrätyille kanaville olevat jatkuvat vahdit. Miehittämättömille aluksille vaikeuksia tuottaa sääntö 16, jonka mukaan jokaisella aluksella on oltava henkilö, jolla on hätä- ja turvallisuusradioliikenteen pätevyys. Vastaavuuden kannalta on ehdottoman tärkeää, että määrätyt radioviestintä ominaisuudet on mahdollisia purkaa myös etänä. (Ringbom ym. 2020, 59.)

Navigoinnin turvallisuus (luku V), on kaikkiin aluksiin kaikilla matkoilla sovellettu luku. Suurimmat osat luvun vaatimuksista on mahdollista vapauttaa lippuvaltioiden toimesta, jos aluksen koko on alle 150 GT kansainvälisillä matkoilla tai alle 500 GT kotimaanmatkoilla. Vain kansainvälisillä matkoilla olevaan alukseen voidaan soveltaa sääntöä 14, jossa edellytetään, että sopimushallitusten toimenpiteet ovat varmistaneet merellä olevien alusten tehokkaan ja riittävän miehittämisen. Merenkulkuviranomaisten on toimitettava miehitystodistus, jossa on todistettava miehityksen olevan riittävä. Ei riitä, että annetaan vähimmäismiehistömäärää koskeva luku, vaan asiakirjaan on sisällytettävä siihen liittyviä turvallisuustoimintoja, jotka miehistö joutuu suorittamaan. Suuntaviivat luodaan saavutettujen tavoitteiden avulla, tämä puolestaan avaa mahdollisuudet etätoiminnalle sekä itsenäiselle toiminnalle. Säännön 33 mukaan, on aluksen päällikön kaikin mahdollisin tavoin autettava merihädässä olevia ihmisiä, jos on siihen itse kykenevä, tämän velvollisuuden siirtäminen autonomisiin tai etäohjattuihin aluksiin tapahtuisi nimittämällä kauko-ohjattuja- tai autonomisia aluksia valvova henkilö aluksen päälliköksi. Velvollisuuden purkaminen onnistuisi varmistamalla, että hätäsignaalit välitetään etsintä- ja pelastusviranomaisille. Tilanteessa, jossa etäohjauksesta vastuussa oleva henkilö havaitsisi hädässä olevia henkilöitä eikä tekisi mitään edistääkseen tiedon välittämistä pelastusviranomaisille, syyllistyisi hän virkarikkomukseen. (Ringbom ym. 2020, 60.)

4.3.1 COLREG

Törmäysten välttämiseksi on asetettu kansainväliset navigointisäännöt, joita alusten on noudatettava (COLREG). Yleissopimus sisältää viisi osaa,

ensimmäisessä osassa esitetään yleiset soveltamissäännökset, toisessa osassa määrätään yksityiskohtaiset ohjaus- sekä purjehdussäännöt, kolmannessa osassa on vaatimukset valojen ja muotojen osalle, neljäs käsittelee ääni- ja merkkivaloja koskevia sääntöjä ja viidennessä osassa on tiettyjä poikkeuksia sääntöihin. Valvomattomien alusten on nykyisessä muodossaan vaikea täyttää säännön 2 vaatimuksia. Säännön 2 mukaan, mikään säännöissä ei vapauta laivan omistajaa, miehistöä tai päällikköä seurauksista, jos sääntöjen noudattamista on laiminlyöty tai normaalia merimiesten varotoimenpiteitä ei ole noudatettu. Sääntöjen noudattamisessa on otettava huomioon, kaikki navigointiin liittyvät vaarat. Erityisolosuhteet ja laivaa koskevat rajoitukset voivat, jossain tapauksissa pakottaa säännöistä poikkeamisen vaaran välttämiseksi. (Ringbom ym. 2020, 63.)

COLREG:n säännössä 5 edellytetään, että laivassa on kaikkina aikoina oltava riittävä kuulo ja näköyhteys vallitsevien olosuhteiden mukaan, jotta törmäyksiltä ja läheltä piti -tilanteilta vältytään. Autonomiset alukset, jotka toimivat kamera-antureiden ja tutkan avulla eivät täyttäisi näkö- ja kuuloarvioinnin vaatimusta. Sääntö 6 on seurausta säännöistä 2 ja 5. Säännön 6 mukaan on laivan nopeuden oltava turvallinen, jotta törmäyksen välttäminen olisi tehokasta ja asianmukaista. Aluksen on pystyttävä pysähtymään vallitsevien olosuhteiden mukaisella etäisyydellä. Säännössä 6 on otettava huomioon viestinnän viivästymisen ennakointi, tällaista viivettä ilmenisi, jos tiedot olisi siirrettävä kauko-ohjaimelle rannalle ja sieltä takaisin alukseen. COLREG:n toisessa osassa määrättyjen sääntöjen noudattaminen miehittämättömälle alukselle ei olisi ongelma, jos aluksella olisi sääntöjen 2 ja 5 mukainen tilannetietoisuus. (Ringbom ym. 2020, 63–64.)

4.3.2 Kansallinen lainsäädäntö

Suomen lainsäädännöt, Suomen merilaki, laki alusten teknisestä turvallisuudesta ja turvallisesta liikennöinnistä sekä laki laivojen miehistöstä ja alusten turvallisuusjohtamisesta, jolla on erityisesti merkitystä autonomisten alusten kehityksen kannalta. Näihin kahteen jälkimmäiseen lakiin ja niihin

liittyviin Traficomien antamiin asetuksiin ja määräyksiin on vastaavat määräykset SOLAS- sekä STCW-yleissopimuksessa. (Ringbom ym. 2020, 77.)

Suomen merilaissa luvussa 6 ei suoranaisesti määrätä, mutta johon MASS välittömästi vaikuttaa on velvoitteita laivan päällikölle ja siihen, että jokaisella aluksella on oltava päällikkö sekä päälliköllä on velvollisuus ennen jokaista merimatkaa varmistaa, että alus on merikelpoinen ja kunnollisesti miehitetty, varustettu sekä lastattu. Laki velvoittaa päällikön myös tarkkailemaan aluksen kuntoa matkan aikana ja ongelmien ilmetessä ilmoittamaan siitä välittömästi, ellei niihin pysty itse puuttumaan. (Ringbom ym. 2020, 77.)

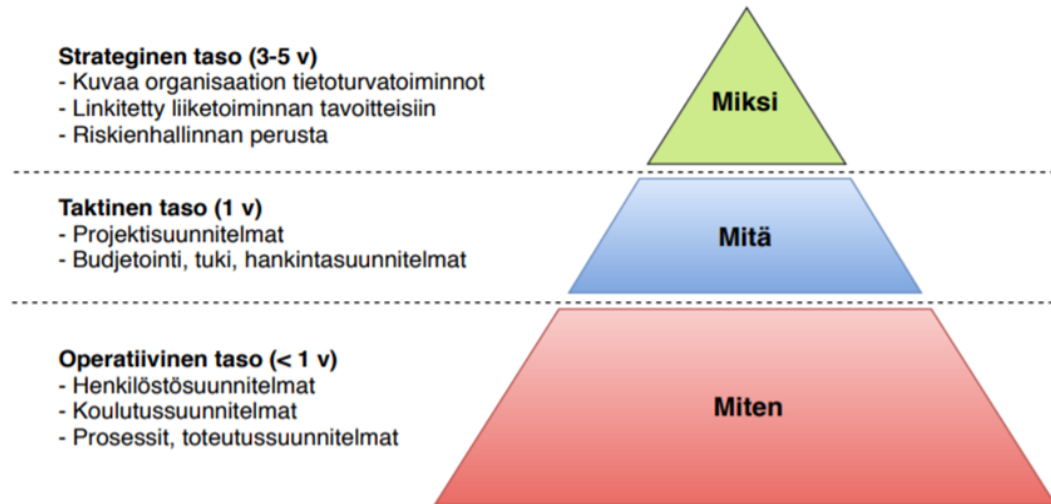
Navigoinnin osalta suurilta osin COLREG:n mukaisesti päällikön on varmistettava, että aluksen käyttö ja käsittely on hyvän merimiestävän mukaista. Merellä ollessa aluksen päällikkö on sillä hetkellä aluksen omistaja ja rahtia kuljetettaessa on aluksen päällikön turvattava rahdin omistajan edut. Luku 6 ja sen velvoitteet, jotka liittyvät navigointiin ja viestintään olisi mahdollista toteuttaa autonomisessa aluksessa edellyttäen, että alukseen on asennettu riittävät seurantalaitteet ja aluksen toimintaa ja sieltä välittyviä tietoja seurataan valvontakeskuksesta. (Ringbom ym. 2020, 78.)

Lain luvussa 6 ei toisaalta ole montaa kohtaa, jotka liittyisivät aluksella oleviin toimintoihin ja jotka vaikeuttaisivat MASS:n toteutumista, kuten velvollisuudet, jotka liittyvät velvollisuuteen matkan aikana suoritettaviin tehtäviin, sillä olisi täysin mahdotonta asettaa henkilölle sellaisia vaatimuksia, joka ei itse edes ole aluksella. Luvun vaatimukset ja tehtävät voidaan siis autonomisessa aluksessa suorittaa ennen matkaan tai hoitaa teknisten ratkaisuiden avulla etänä, pois lukien (merilain 6 luku, 3§) velvoite valvoa laivan kuntoa matkan aikana, (merilain 6 luku, 9§) hyvän merimieheyden säilyttäminen aluksella ja (merilain luku 6, 11–12§) poikkeus- ja hätätilanteen vaatimat tehtävät. (Ringbom ym. 2020, 79.)

4.3.3 Kyber- ja ohjelmistoturvallisuus

Nykypäivän iso muutos, joka on jo osittain pakollista ja tulee tulevaisuudessa olemaan pakollinen, on kyberturvallisuuden säännökset ja säännöt. DNV on jo julkaissut sääntöjä ja suosituksia koskien kyberturvallisuutta. (Lehtopohja 2021.)

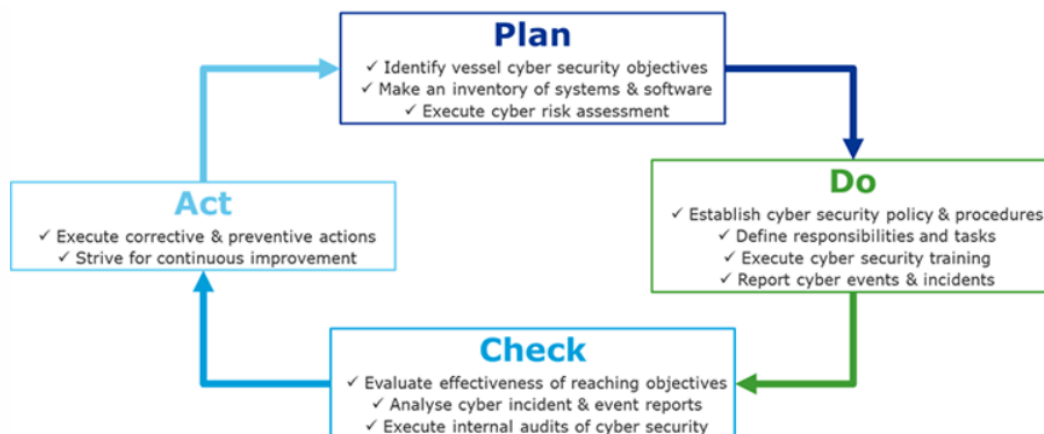
Autonomisia aluksia ajatellen kyberturvallisuus nousee esiin hyvin tärkeänä tekijänä. Kyberhyökkäysten kannalta merellä seilaavat alukset ovat hyvin ainutlaatuisia hyökkäyksen kohteita. Tietoturva uhat lajitellaan tahallisiin- ja tahattomiin, jotka taas voivat olla joko kohdennettuja tai kohdistamattomia. Tahattomia tietoturvahyökkäyksiä on yleensä tietoturva- sekä ohjelmistovirheet, joiden seurauksena järjestelmä jää suojaamattomaksi luvattomalta operoinnilta. Tietoturvan sulkeminen ulkomaailmasta ei myöskään ole vaihtoehto, sillä ei voida tietää tuleeko hyökkäykset organisaation sisä- vai ulkopuolelta. Tahaton tietoturvahyökkäys voi pahimmillaan aiheuttaa tuntevia taloudellisia sekä ympäristöllisiä vaikutuksia. Tahalliset hyökkäykset tehdään useasti monestakin syystä, mutta yleisemmin ne voivat esimerkiksi teollisuusvakoilua, tiedusteluhyökkäyksiä, taloudellisia hyökkäyksiä, terrorismia, kosto/kauna tai jokin muu rikollisuuteen liittyvä. Uhkien kohteena voi olla matkustajat, miehistö, varustamo, omistajat, lasti tai itse alus. Tietoturvan onnistunutta toteutusta ja hallintaa varten, on laadittu kolmen tason tietoturvasuunnitelma (kuva 4). Tietoturvahyökkäysten ja haavoittuvuuksien hyväksikäytön estämiseksi käytetään uhkien torjunnan perustana hallintamallia. (Leppänen ym. 2019, 32–34.)



Kuva 4. Tietoturvan hallinnan tasot (Leppänen ym. 2019, 33).

IMO antoi päätöslauselman (MSC.428 (98)), vastauksenaan kasvavalle kyberrikollisuuden uhalle. Päätöslauselmaa on täydennetty sittemmin Itämeren ja kansainvälisen merineuvoston (BIMCO) suuntaviivoilla. Nämä ohjeet käsittelevät nykyisiin turvallisuusjohtamisjärjestelmän (ISM) prosesseihin sisällytettyä kyberriskien hallintaa. IMO:n päätöslauselma astui voimaan 1.1.2021, joka määrää kaikkia varustamoita noudattamaan kyseistä päätöslauselmaa, jatkaakseen operoimista kansainvälisesti. Tämä asetus koskee kaikkia aluksia ja edellyttää, että kyberriskien hallinta sisällytetään turvallisuusjohtamisjärjestelmiin. Päätöksessä suositellaan lippuvaltioiden varmistamaan alusten päälliköiden ja omistajien perehtyneisyys kyberriskeihin. Monet organisaatiot kuten BIMCO ovat luoneet ohjeita auttaakseen omistajia saavuttamaan vaatimusten noudattamisen. (IMO regulations for cyber security n.d.)

IMO sopi asiasta sisällyttää kyberriskien hallinta, olemassa oleviin ISM-säännöstön ja ISPS-säännöstön järjestelmiin. Tämän vuoksi tulisi soveltaa PDCA-järjestelmää (kuva 5).

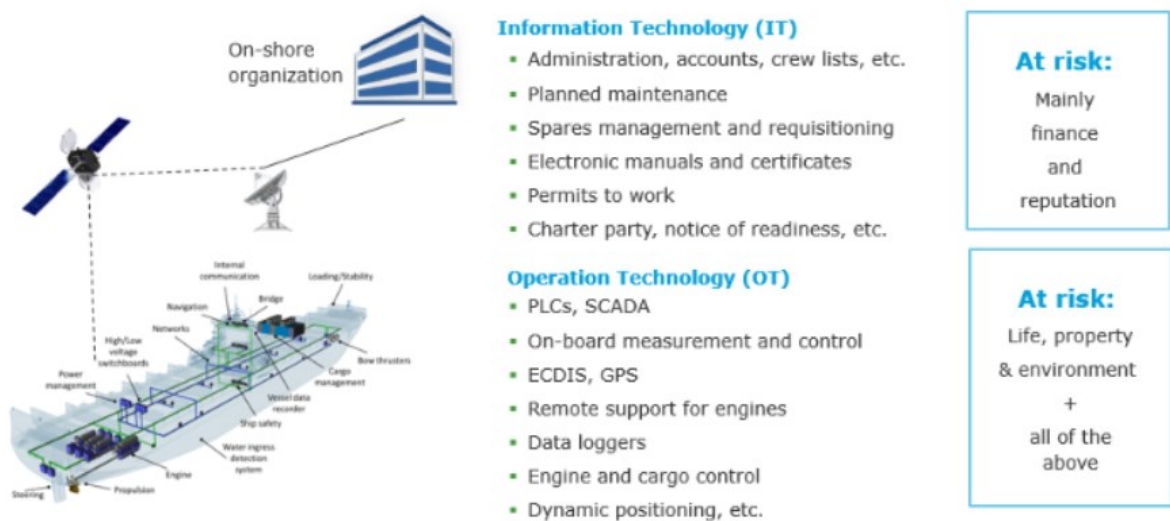


Kuva 5. PDCA-prosessi (DNV n.d).

PDCA-järjestelmän mukaan ensimmäisenä tulisi tuntea aluksen turvallisen toiminnan kannalta kyberturvallisuustavoitteet sekä sitä koskevat ulkoiset ja sisäiset sidosryhmävaatimukset. Kyberturvallisuuden arviointiin tulisi sisällyttää seurausanalyysi, todennäköisyysanalyysi, omaisuuden luokitus ja vaadittujen esteiden määrittäminen. Seurausanalyysissä tarkasteltaisiin järjestelmien luottamuksellisuutta, eheyttä ja käytettävyyttä niiden menettämisen osalta. Todennäköisyysanalyysissä tutkitaan, kuinka usein järjestelmät tulisi vaarantumaan. Omaisuuden luokituksessa, omaisuudet laitettaisiin järjestykseen niiden kyberturvallisuusriskien mukaan. Vaadittujen esteiden määrittämisessä ja sen parantamisen osalta voitaisiin käyttää Cyber secure-luokkaa notaatiota, jolla voidaan varmistaa, että telakat ja niiden toimittajat on onnistuneesti saaneet laivat suojattua. Järjestelmän tehdä-osiossa tulisi DNV:n suositusten mukaan laivan miehistölle pitää yleisiä koulutuksia ja syventäviä koulutuksia tiettyjen järjestelmien käyttäjille kyberturvallisuudesta. Myös tulisi tehdä selvät ohjeet, menettely- ja määrittelytavat kyberhyökkäysten varalta. Tarkastus-osiossa sisäisiä tarkastuksia on saavutettujen kyberturvallisuustavoitteiden tehokkuuden tarkastaminen, hyökkäysten analysointi, kyberhyökkäyksiin reagointi ja sisäisten kyberturvallisuus tarkastusten suorittaminen. Suositelluissa ulkoisissa tarkastuksissa

varmistetaan, että IMO:n vaatimuksia noudatetaan ja saadaan parannettua asiakkaiden sekä liikekumppaneiden luottamusta. Toiminta-osiossa tarkasteluraporttien perusteella olisi toteutettava parantavia sekä ehkäiseviä toimia, sillä kyberuhkien muuttuessa on myös niiden puolustusjärjestelmiä parannettava jatkuvasti. (DNV n.d.)

Laivojen kyberjärjestelmät luokitellaan kahteen ryhmään IT (vakiotietojärjestelmä) ja OT (käyttö- ja valvontajärjestelmä) (kuva 6). IT ryhmä on toiseen ryhmään verrattuna kypsempi kyberturvallisuutta ajatellessa It-järjestelmän rikkoutuminen ei yleensä vaikuta laivojen ja yksiköiden turvalliseen toimintaan vaan enemmänkin vaikuttaa taloudellisesti sekä maineeseen. OT ryhmä on huomattavasti epäkypsempi ja hyökkäys Ot-järjestelmään saattaa vaarantaa laivan ja sen miehistön turvallisuuden. (DNV n.d.)



Kuva 6. Laivan kyberjärjestelmät (DNV n.d.).

Valtaosa nykypäivän uusista aluksista rakennetaan integroiduilla digitaalisilla järjestelmillä, joka mahdollistaa omistajien tietojen keruun ja vaihdon alusten kesken, mutta järjestelmä jättää laivan kyberalttiiksi. IACS:n julkaiseman kybersietokyky 166 suosituksen mukaan, määritellään uudelle laivalle kyberturvallisuutta koskevia vaatimuksia suunnittelu- ja rakennusvaihetta varten. Kyberturvallisuutta ajatellen on etuna, että turvaaminen voidaan aloittaa

jo suunnitteluvaiheessa, jossa laitteisto valitaan kyberhyökkäyksiä kestäväksi ja rakennusvaiheessa telakat voivat varmistaa kyberturvallisuussääntöjen täytäntöönpanon. (Cyber security for newbuilds n.d.)

5 Yhteenveto

Tämän työn perusajatuksena oli esittää laivan automaatiojärjestelmää koskevien sääntöjen nykytila ja niiden kehityssuunnat.

Haasteena työssä oli laiva-automaatiota käsittelevien lähteiden etsintä, joka osoittautui haasteelliseksi, koska kirjallisuutta aiheesta on saatavilla suppeasti. Lisäksi tietämättömyys laiva-automaatiosta aiheena entuudestaan lisäsi määrää, koska aiheeseen tuli perehtyä perusteista lähtien. Nykypäivänä laiva-automaatiota koskevia sääntöjä sen sijaan oli helposti saatavilla niin paljon, että vaikeutena oli valita olennaisin materiaali ja koostaa siitä johdonmukainen kokonaisuus. Aihe autonomisista aluksista on vielä kehittämissvaiheessa, joten julkisesti saatavilla olevaa tietoa sääntöjen uudistuksista ja kehityksistä on hyvin vähän.

Työtä tehdessä huomio keskittyi haasteeseen nykypäivän sääntöjen soveltamisesta ja muokkaamisesta sellaisiksi, että ne pätevät myös aluksiin, joissa ei miehistöä ole mukana. Tulevaisuudessa saattaa vielä joskus merellä seilata täysin autonomisia aluksia keskenään, mutta tällä hetkellä ajatus siitä vaikuttaa hyvin kaukaiselta. Sääntöjä tutkiessa huomasi hyvin nykypäivän sääntöjen ristiriitaisuuden autonomisten alusten kanssa.

5.1 Tulokset

Alustyyppistä riippuen laivojen automaatiojärjestelmiä koskevat säännöt saattavat huomattavasti vaihdella, vaikka laiva-automaatiota koskevat säännöt määräävät automaatiojärjestelmälle tietynlaisen rakenteen ja siihen kuuluvat yksiköt (Nurmi 2017, 3–4). Laiva-automaatiota koskevat säännöt on vuosien saatossa kehittyneet teknologian kehityksen ansiosta sekä merenkulkuun liittyvien onnettomuuksien takia. Sääntöihin tulee jatkuvasti lisää kehitystä ja uusia suosituksia, jotka mahdollisesti tulevaisuudessa muuttuvat pakollisiksi. Yksi esimerkki sääntöjen muutoksista, joka ei vielä vaatimus ole on HIL-testaus, joka mahdollistaa varustamoiden varmistumisen yhä monimutkaisempia ohjaus-

ja valvontajärjestelmiä käyttävien alusten kustannustehokkaasta– ja turvallisesta operoinnista. (Lehtopohja 2021.)

IMO:lla on tulevaisuudessa haasteita liittyen autonomisten alusten sääntelyihin. Autonominen merenkulku edustaa tulevaisuutta ja siihen liittyviä ominaisuuksia ei ole IMO:n tarvinnut ennen säännellä. Kehityksen ulottuessa, joko kauko-ohjattaviin tai itsenäisiin aluksiin on paljon muutoksia tarpeen tehdä vaatimuksiin, jotka perustuvat ihmisen toimintoihin. Uusi sääntely tulee koskemaan antureita, tietojenkäsittelylaitteiden suorituskykyvaatimuksia, redundanssi vaatimuksia jne. Myös aluksen ja rannan välistä viestintää koskevia sääntöjä on syytä pohtia. Miehittämättömän aluksen on pystyttävä reagoimaan, jos aluksen ja rannan välinen kommunikaatio viivästyy tai katkeaa. Nykypäivänä sääntelyssä nousee esille erittäin tärkeäksi kyberturvallisuus. Tulevien määräysten tulisi myös tulevaisuudessa olla paljon joustavampia ja tavoitteellisempia mitä nykypäivän määräykset ovat. (Ringbom ym. 2020, 67.)

Yksi esimerkki autonomisen merenkulun tuomista haasteista IMO:n sääntöihin on STCW- sopimuksen määräys, joka koskee vahdinpitoa aluksessa. On täysin mahdotonta saada toteutettua fyysisen läsnäolon vaatimuksia komentosillalla, jos vahdit on korvattu tekniikalla tai vahtien tehtävät hoidetaan etänä. IMO:n säännöt ei suoranaisesti ole ristiriidassa autonomisten alusten kanssa, mutta niitä on tulkittava tavalla, jolla miehittämättömät operaatiot voitaisiin sallia. Kysymyksiä herää paljon koskien IMO:n määräyksiä. Yleisesti ne koskevat sitä, voidaanko valvonta-, seuranta- ja hallintatoimintoja toteuttaa, jossain muualla kuin itse laivassa. Onko mahdollista, että laivan päällikkö ei ole itse laivassa, ja jos näin on mahdollista, voiko hän olla vastuussa useammasta laivasta? (Ringbom ym. 2020, 66.)

Autonomisia aluksia ja siihen liittyvää tekniikkaa varten on maailmalla perustettu useita eri projekteja, joiden tavoitteena on tuoda itsenäiset toiminnot käyttöön aluksissa. Kansainvälisten sääntelyiden puuttuminen autonomisiin aluksiin luo ongelman, että alukset voidaan ainoastaan hyväksyä kansallisesti. Laivojen myyminen kansainvälisesti on käytännössä mahdotonta, sillä näitä tekniikoita käyttävien kansallisesti hyväksytyjen alusten voidaan pitää eri standardien

mukaisina. Jotta laivoja voitaisiin kansainvälisesti myydä ja laivanomistajat olisivat halukkaita näihin tekniikoihin investoimaan, on tunnettava perusteellisesti kansainväliset säännöt ja määräykset. (Haikkola 2021.)

IMO:n meriturvallisuuskomitean istunnossa (MSC 104) autonomista merenkulkua varten tehtiin yksi tuotos neljästä tuotosehdotuksesta, jonka tarkoituksena on MSC 105:ssa aloittaa sääntelytyö koskien autonomista merenkulkua. Sääntelytyön alussa on tarkoituksena luoda työlle tiekartta, jonka mukaan sääntelytyö etenee. Tiekartta toimii strategisena suunnitelmana, jolla voidaan halutut tulokset ja tavoitteet määritellä. (Haikkola 2021.)

Yhtenä ehdotuksena on ollut, että lähivuosina luodaan autonomista merenkulkua varten kokonaan uusi asiakirja sen sijaan, että nykypäivän säännöksiä, jotka koskevat autonomista merenkulkua, alettaisiin muuttamaan. Tämä kyseinen asiakirja kiinnitettäisiin IMO:n yleissopimukseen, kuten SOLAS. (Haikkola 2021.)

Teknologian kehityksen myötä lisääntyneet kyberturvallisuusuhat ovat laivan automaatiojärjestelmien kannalta erittäin tärkeä aihe, joka kaipaa lisää säännöstelyä. Kyberturvallisuutta varten on jo kehitetty suosituksia, jotka ovat jo nyt osittain pakollisia ja tulevat olemaan tulevaisuudessakin (Lehtopohja 2021). Vuoden 2021 alussa tullut kaikkia aluksia ja varustamoita koskeva määräys turvajärjestelmiin sisällytettävästä kyberriskien hallinnasta on hyvä esimerkki lisääntyneestä säännöstelystä ja turvallisemmasta merenkulusta tulevaisuudessa. On sanomattakin selvää, miten teknologian kehitys muuttaa aluksiin kohdistuvia uhkia, joita ei aiemmin ole tarvinnut niinkään ottaa huomioon.

Yhteenvetona tuloksista voidaan todeta, ettei nykypäivän säännöt ole täysin samalla linjalla merenkulun kehityksen kanssa. Sääntöjen uudistaminen on täysin välttämätöntä. Varmaksi ei voida vielä sanoa, tuleeko itsenäisiä aluksia varten olemaan täysin uusi asiakirja vai saadaanko nykyiset säännöt lain puitteissa muokattua niin, että itsenäiset alukset olisivat tulevaisuudessa mahdollisia. Joka tapauksessa laiva-automaation kehitys tapahtuu vaiheittain,

jotka todennäköisesti etenevät itsenäisestä lauttaliikenteestä, itsenäisen rahtiliikenteen kokeiluihin, joita jo tällä hetkellä maailmassa on testattavana. Matkustaja-alusten täysin itsenäinen toiminta ei ehkä koskaan tule olemaan mahdollista, mutta osittain itsenäisesti toimivia matkustaja-aluksia tulevaisuudessa tullaan todennäköisesti näkemään.

5.2 Pohdinta

Työtä tehdessä ja automaation kehityksestä kertovien artikkeleiden tutkimisesta huomasi hyvin, miten koko laiva-automaatiota koskeva sääntely tulevaisuudessa on tietynlaisen ison kysymysmerkin alla. Aiheesta kertovaa aineistoa oli paljon, joista jokaisessa aineisto perustui enemmän tai vähemmän pohdinnoille ja arvailuille. Työn tekeminen uudestaan muutaman vuoden päästä toisi työhön ratkaisuja ja vastauksia kysymyksiin, joihin ei vielä ole kukaan pystynyt täysin varmuudella vastaamaan. Tällä hetkellä on paljon projekteja käynnissä, jotka koskevat säännöstelyä ja sen uudistamista, mutta näiden projektien hyvin monen ollessa vasta alku metreillä ei työhön pysty varmuudella antamaan pitäviä tuloksia.

Haasteena työssä oli työn rajaaminen ytimekkääksi, josta tulisi ilmi laiva-automaation perusteista ja sen kehityksestä lähtien hyvä yleiskäsitys aiheesta. Nykypäivän sääntöjen luetteloiminen työhön ei olisi työlle lisäarvoa tuonut, vaan työssä pyritään keskittymään siihen, miten käytännössä sääntöjen nykytilanne tulee vaikuttamaan tulevaisuudessa sääntelyyn. Vaikka monet lähteistä perustuivatkin pohdinnoille, antoi se paljon tietoa suuntaviivoista, joita kohti pyritään kehityksen kanssa menemään.

Työn tuloksia voitaisiin hyödyntää opetuskäytössä esimerkiksi tuomaan tietoa laiva-automaatiosta yleisellä tasolla ja sen kehittymisestä tähän päivään asti. Lisäksi työ antaa tietoa tämänhetkisistä laiva-automaatiota koskevien sääntöjen tilasta. Tulevaisuudessa työn sisältöä voitaisiin täydentää varmoilla tiedoilla, kun maailmalla olevat hankkeet itsenäisestä merenkulusta edistyvät ja näin ollen saadaan lisää tietoa sääntelyiden uudistamisista.

Työn tuloksiin vaikutti positiivisesti alan asiantuntijoiden haastattelut, joilta sai arvokasta tietoa nykypäivän laiva-automaatiosta sekä autonomisten alusten kehitysaskelista. Tuloksissa on hyvin saatu otettua huomioon kehityssuunnat ja saatu vertailtua nykyistä säännöstelyä tulevaisuuden kannalta. Vaikka työ ei suoraan vastaa kysymyksiin tulevaisuuden tilanteesta, antaa se hyvän pohjan seuraavalle sääntöjä koskevalle tutkimustyölle.

Lähteet

- About the ecosystem. n.d. One Sea Autonomous Maritime Ecosystem. Verkkosivu. Viitattu 20.11.2021. <https://www.oneseaecosystem.net/about/about-the-project/>
- Aranda, J. Armada, M. A. & De La Cruz, J. 2004. Automation for the Maritime Industries. 145. Viitattu 28.10.2021. https://www.researchgate.net/publication/263580947_Automation_for_the_Maritime_Industries
- Cyber security for newbuilds. n.d. BureauVeritas. Verkkosivu. Viitattu 6.11.2021. <https://marine-offshore.bureauveritas.com/cyber-security-newbuilds>
- Deltamarin. n.d. Safe return to port. Verkkosivu. Viitattu 25.11.2021. <https://deltamarin.com/current-challenges/safe-return-to-port/>
- DNV. n.d. Maritime cyber security. Verkkosivu. Viitattu 13.11.2021. <https://www.dnv.com/maritime/insights/topics/maritime-cyber-security/ism-guidance.html>
- DNVGL. 2016. Guidance for safe return to port projects. Verkkosivu. Viitattu 16.11.2021. <https://rules.dnv.com/docs/pdf/DNV/CG/2016-04/DNVGL-CG-0004.pdf>
- IMO regulations for cyber security. n.d. BureauVeritas. Verkkosivu. Viitattu 7.11.2021. <https://marine-offshore.bureauveritas.com/imo-regulations-cyber-security>
- Koskinen, K. 2018. Automaatioväylä. Viitattu 28.10.2021. https://www.automaatioseura.fi/site/assets/files/1380/automaatio_ennen_nyt_ja_tulevaisuudessa_av_artikkelisarja_2018.pdf
- Kippo, A. K. & Tikka, A. 2008. Automaatiotekniikan perusteet. Helsinki: Edita Prima Oy.
- Lehto, P. 2014. Laiva-automaation suunnittelun ohjeistus. Opinnäytetyö. Kone- ja tuotantotekniikka. Turku: Turun ammattikorkeakoulu. Viitattu 2.11.2021. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/70923/Pasi_Lehto.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Leppänen, V.; Rauti, S.; Rindell, K. & Holvitie, J. 2019. Kyberturvallisuus ja tiedonsiirron turvaaminen autonomisten alusten kehittämisessä ja operoinnissa. 6Aika. Viitattu 17.11.2021. <https://6aika.fi/kyberturvallisuus-ja-tiedonsiirron-turvaaminen-autonomisten-alusten-kehittamisessa-ja-operoinnissa/>

Liikenne- ja viestintävirasto Traficom. 2019. Meriliikenteen automaation kehitys – Merenkulun automaation ja digitalisaation tutkimusohjelma. Traficom julkaisuja. Helsinki. Viitattu 12.11.2021. https://www.traficom.fi/sites/default/files/media/publication/Meriliikenteen_automaaation_kehitys_Traficom_julkaisuja_122_2019.pdf

Matikka, K. 2021. Evolution of autonomous maritime operations driven by automation technology and digitalization. Elomatic. Viitattu 8.11.2021. <https://blog.elomatic.com/en/evolution-of-autonomous-maritime-operations-driven-by-automation-technology-and-digitalisation/>

Nurmi, M. 2017. Laivan integroidun automaatiojärjestelmän käyttöönottoprosessi. Opinnäytetyö. Automaatiotekniikka. Helsinki: Metropolia ammattikorkeakoulu. Viitattu 4.11.2021. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/129286/Nurmi_Matias.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Peplinski, H. 2020. Ship and Mobile Offshore Unit Automation – A Practical Guide. Gulf Professional Publishing.

Ringbom, H.; Viljanen, M.; Poikonen, J. & Ilvessalo, S. 2020. Charting Regulatory Frameworks for Maritime Autonomous Surface Ship Testing, Pilots, and Commercial Deployments. Ministry of Transport and Communications. Viitattu 29.11.2021. https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/162560/LVM_2020_20.pdf?sequence=1&isAllowed=y