



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
EESTI MEREAKADEEMIA
Merenduskeskus

Marina Grozdova

**AUTONOOMSETE LAEVADE KASUTUSELEVÕTU
VÕIMALIKUD MÕJUD MERETRASPORDI
EFEKTIIVSUSELE JA MERESÕIDUOHUTUSELE**

Lõputöö

Juhendaja: Dotsent Anatoli Alop

Tallinn 2023

Olen koostanud töö iseseisvalt.

Töö koostamisel kasutatud kõigile teiste autorite töödele, olulistele seisukohtadele ja andmetele on viidatud.

Marina Grozdova

(allkirjastatud digitaalselt, kuupäev digiallkirjas)

Üliõpilase kood: 193010VDSR

Üliõpilase e-posti aadress: magroz@ttu.ee

Juhendaja: Dotsent Anatoli Alop

Töö vastab lõputööle esitatud nõuetele

(allkirjastatud digitaalselt, kuupäev digiallkirjas)

Kaitsmiskomisjoni esimees Marko Jürioja, OÜ Bulk & Tank tootmisjuht

Lubatud kaitsmisele

(allkirjastatud digitaalselt, kuupäev digiallkirjas)

Sisukord

Jooniste loetelu	5
Tabelite loetelu	6
Annotatsioon.....	7
Kasutatud lühendid	8
Sissejuhatus	10
1 Autonoomsuse definitsioon ja kontseptsioon	12
1.1 Autonoomsete laevade olemus ja tasemed	12
1.2 Autonoomsete laevade arendamise ajalugu	13
1.3 Autonoomsete laevade projektid	21
1.3.1 Yara Birkeland.....	21
1.3.2 Soleil.....	22
1.3.3 Prism Courage	23
1.4 Autonoomsete laevade õiguslik regulatsioon	24
2 Uurimismetoodika ja andmete analüüs	26
2.1 Autonoomsete laevade SWOT-analüüs	26
2.1.1 MASS tugevused	26
2.1.2 MASS nõrkused.....	28
2.1.3 MASS võimalused.....	31
2.1.4 MASS ohud	33
2.2 Tehisintellekti mõju laevandussüsteemile	34
2.2.1 Tehisintellekti kasutamise seotud riskid	36
2.3 Laevakapteni roll autonoomsete laevade puhul.....	37
2.4 Seos süsteemi efektiivsuse ja selle turvalisuse vahel	39
2.5 Mõju maailma majandusele	40
3 Uuringu tulemuste analüüs ja järeldused.....	43
3.1 Intervjuu ja küsimustiku tulemused	43
3.1.1 Intervjuu tulemused	43
3.1.2 Küsimustiku tulemused	45
3.2 Autonoomsete laevade peamised riskid ja nõuded.....	50
3.3 Autonoomsete laevade mõju laevanduse efektiivsusele ja ohutusele	53
Kokkuvõte	57
Summary.....	60

Viidatud allikad63

Jooniste loetelu

Joonis 1 Yara Birkeland	22
Joonis 2 Soleil.....	23
Joonis 3 Prism Courage	24
Joonis 4 Autonoomsete laevade turg - Kasvutempo piirkondade kaupa (2020 - 2030).....	41
Joonis 5 Inimeste teadlikkuse osakaal	45
Joonis 6 Autonoomsete laevade kasutuselevõtu ajavahemik	46
Joonis 7 Riskide hinnang	47
Joonis 8 Kaubavedu ja reisijatevedu	49
Joonis 9 Seos meresõiduohutuse ja inimteguri vahel	49

Tabelite loetelu

Tabel 1 IMO poolt määratletud autonoomsuse tasemed laevadele	12
Tabel 2 Laevade autonoomsuse tasemed vastavalt <i>Bureau Veritas</i> klassifikatsioonile.....	13

Annotatsioon

Autonoomsete merepinnal liikuvate laevade (*MASS*) areng soodustab uute tehnoloogiliste võimaluste ja eeliste loomisele laevandusvaldkonnas. Automatiseeritud mereoperatsioonide eksperdid töötavad välja autonoomsete merepinnal liikuvate laevade projekte, eesmärgiga jõuda tulevikus täiesti autonoomsete laevadeni, mis suudavad iseseisvalt, ilma inimese sekkumiseta oma tegevuses püstitatud ülesandeid täita. *MASS* projektide arendamine tuleneb ootusest, et *MASS* kasutuselevõtt parandab meresõiduohutuse, vähendab laevanduskulud, inimteguri, delegerides ülesandeid automatiseeritud süsteemidele, aitab kaasa majandusarengule, aitab vähendada laevade eksploatatsioonist ja õnnetustest tingitud keskkonna reostuse ning pakub uued võimalused kaubandusliku laevandusturu arenguks. Lisaks oodatavatele eelistele toob autonoomsete merepinnal liikuvate laevade kasutuselevõtt laevanduse jaoks kaasa uusi riske ja väljakutseid. *MASS* kasutuselevõtul võib laevandussektor kokku puutuda küberturvalisuse riskidega; vajadusega töötada välja uusi õigusnorme, vajalikke tehnoloogilisi tingimusi, infrastruktuuri; eetikaküsimustega seotud probleemide ja inimeste psühholoogilise ettevalmistusega innovatsiooniks laevandussektoris. Autonoomsete merepinnal liikuvate laevade kasutuselevõtu olulisemaid ülesandeid on ohutu *MASS* toimimise tagamine. Käesolevas töös käsitletakse autonoomsete merepinnal liikuvate laevade kasutuselevõtu mõju laevandusvaldkonnale.

Märksõnad: *MASS, autonoomsed laevad, efektiivsus, ohutus*

Kasutatud lühendid

AAWA	The Advanced Autonomous Waterborne Applications Initiative
ABS	American Bureau of Shipping
AI	Artificial Intelligence/ Tehisintellekt
AUV	Autonomous underwater vehicle/ Autonoomne veealune sõiduk
CAGR	Compound Annual Growth Rate/ Aastane kasvutempo
COLREG	International Rules of Preventing Collision at Sea/ Rahvusvahelised laevade kokkupõrgete vältimise eeskirjad
ESA	European Space Agency
FAL	IMO Facilitation Committee/ Rahvusvahelise Mereorganisatsiooni Mereliikluse Hõlbustamise Komitee
H2H	Hull to Hull
IMB PRC	International Maritime Bureau's Piracy Reporting Centre/ Rahvusvahelise Merebüroo Piraatluse Aruandekeskus
IMO	International Maritime Organization/ Rahvusvaheline Mereorganisatsioon
IoT	Internet of Things/ Asjade Internet
ISM CODE	International Safety Management Code/ Meresõiduohutuse korraldamise rahvusvaheline koodeks
ISS	Integrated Smartship Solution
KRISO	Korea Research Institute of Ship & Ocean Engineering
KSOE	Korea Shipbuilding & Offshore Engineering
LEG	Legal Committee/ Õiguskomitee
MASS	Maritime Autonomous Surface Ships/ Autonoomsed merepinnal liikuvad laevad
MSC	Maritime Safety Committee/ Meresõiduohutuse Komitee
MUNIN	Maritime Unmanned Navigation through Intelligence in Networks
NLP	Natural Language Processing/ Loomuliku keele töötlemine
NTNU AMOS	Norwegian University of Science and Technology Centre for Autonomous Marine Operations and Systems
OT	Operational technology/ Operatiivne tehnoloogia
ROMAS	Remote Operation of Machinery and Automation Systems

SCC	Shore Control Center/ Kaldal asuv juhtimiskeskus
SOLAS	International Convention for the Safety of Life at Sea/ Rahvusvaheline konventsioon inimeste ohutusest merel
STCW Code	Seafarers' Training, Certification and Watchkeeping Code/ Meremeeste väljaõppe, diplomeerimise ja vahiteenistuse aluste rahvusvahelisele konventsioon
ZYIT	Zhuhai Yunzhou Intelligence Technology
UNCLOS	United Nations Convention on the Law of the Sea/ Ühinenud Rahvaste Organisatsiooni mereõiguse konventsioon
UNCTAD	United Nations Conference on Trade and Development / ÜRO Kaubandus- ja Arengukonverents
USV	Mehitamata (vee)sõiduk / Unmanned Surface Vehicle
VTMS	Vessel Traffic Management System

Sissejuhatus

Meretransport on üks peamistest maailma majanduse komponentidest. Ligikaudu üheksakümmend protsenti kogu maailma kaupadest veetakse meritsi (Allianz, 2018). Meresõiduohutus on seega laevandusettevõtete ja kogu transpordisektori jaoks esmatähtis nii rahalisest seisukohast kui ka sellistest aspektidest nagu inimelu ohutus merel ja merekeskkonnareostuse vältimine.

Statistiliste andmete kohaselt on laevade hukuga lõppenud mereõnnetuste arv viimase kümne aasta jooksul vähenenud viiekümne seitsme protsendi võrra (Allianz, 2022). Laevade ehitamise nõuete ja eksploatatsiooni rahvusvaheliste standardite täiustamine, info- ja kommunikatsiooni tehnoloogiate, ohutusnõuete ja meeskonna kvalifikatsiooni areng on kõik aidanud kaasa ohutusnäitajate paranemisele (Allianz, 2018).

Vaatamata meretranspordi sektori pidevale arengule on mitmeid tegureid, mis mõjutavad ühel või teisel viisil meresõiduohutust. Põhiteguritest tuleks esile tõsta inimteguri, mis on meretranspordi valdkonnas üks peamisi meresõiduintsidentide põhjustajaid (Allianz, Shipping losses, 2018). Kõige olulisemad ohutust mõjutavad inimtegurid selles valdkonnas on väsimus, olukorratundlikkuse puudumine, puudulik suhtlemine, võimetus teha õigeid otsused vastavalt situatsioonile, meeskonnatöö puudulikkus, tervisehäired ja stress (Hetherington et al., 2006). Need tegurid põhjustavad tõsiseid vahejuhtumeid, nagu laevakokkupõrked, madalale sõit, lasti kaotamine ja merekeskkonna reostus.

Autonoomsete laevade arendamine on üks tähtsaid teemasid merendussektoris, mis mõjub meretranspordi efektiivsusele ja meresõiduohutusele. Autonoomsete laevade kasutuselevõtt võib tuua märkimisväärseid saavutusi merendussektori ohutuse valdkonnas, sest autonoomne navigeerimine eeldab inimteguri eemaldamist laevade navigeerimisprotsessist ja kaugseire korraldusest.

Ohutusnõuded ja majanduslik kasu on kõige olulisemad põhjused autonoomsete laevade kiireks arendamiseks. Mereõnnetused põhjustavad inimohvraid, keskkonnakahju ja majanduslikku kahju. Eeldatakse, et eksploatatsioonikulude, keskkonnareostuse, meresõiduohutuse – ja turvalisuse seisukohalt autonoomsete laevade ehitamine ja kasutamine võib olukorda parandada, ning on soodsam traditsiooniliste laevadega võrreldes. (Haitong et al., 2023)

Autonoomsete laevade kasutuselevõtt nõuab ka vastavat õiguslikku regulatsiooni, millega kehtestatakse nõuded rahvusvahelistele merevedudele. Autonoomsete merepinnal liikuvate laevade kasutuselevõtt nõuab uue õiguslikku reguleerimise väljatöötamist, sest traditsioonilise laevanduse mudeliga võrreldes, mille puhul kehtivad jäigad eeskirjad ja sätted, autonoomsed laevad on kiiresti arenev uus tehnoloogia, mis nõuab teistsugust lähenemist.

Selles valdkonnas on juba rakendatud arengumeetmeid Rahvusvahelise Mereorganisatsiooni (IMO) poolt. Nende meetmete alusel on võetud väljatöötamiseks dokument autonoomsete laevade eksploatatsiooni reguleerimiseks, mis peab jõustuma 2028. aastal (IMO, Autonomous shipping, 2022). Selline olukord viitab sellele, et üleminek rannasõidulaevanduses täielikult või osaliselt autonoomsetele laevadele on aja jooksul vältimatu.

Käesolevas töös autor käsitleb autonoomsete laevade kasutuselevõtu võimalikke mõjusid meretranspordile. Lõputöö autori poolt hüpoteesiks oli valitud järgmine väide: „Autonoomsete laevade kasutuselevõtt muudab laevanduse efektiivsemaks ja ohutumaks.“

Antud töö eesmärgiks on uurida autonoomsete laevade arengut, et kindlaks määrata, milliseid riske autonoomsete laevade kasutamine kaasa toob ja kas nende kasutamine muudab laevanduse ohutumaks või mitte.

Töö kirjutamiseks autori poolt olid valitud kolm peamist uurimisküsimust:

1. Millised on autonoomsete laevade põhiprintsiibid ja olemus?
2. Kuidas autonoomsete laevade areng mõjutab meretranspordi valdkonda?
3. Millised on autonoomsete laevade kasutuselevõtu eelised ja riskid laevanduses?

Kõik uurimisandmed olid kogutud peamiselt teoreetiliste ja statistiliste andmete analüüsi alusel teadusartikleid kasutades. Käesolev töö on jagatud kolmeks peamiseks osaks. Lõputöö esimeses osas antakse ülevaade autonoomsete laevade olemusest ja arenguetappidest, vaadatakse läbi näiteid olemasolevatest autonoomsete laevade projektidest ja käsitletakse selles valdkonnas kehtivaid õiguslikke regilatsioone. Teises osas kogutakse ja analüüsitakse andmeid, käsitletakse kõige enam autonoomseid laevu, nende ohutust, arengut mõjutavaid tegureid. Antakse ülevaade autonoomsete laevade eelistest ja puudustest, ja autonoomsete laevade valdkonnaga seotud riskidest. Kolmandas osas on esitatud kogutud andmete analüüsi tulemused, mille alusel on ette toodud nõuded, mis puudutavad autonoomsete laevade kasutuselevõttu.

1 Autonoomsuse definitsioon ja kontseptsioon

Tänapäeval inimestel on võimalus olla tunnistajaks automatiseerimise kiirele arengule erinevates valdkondades üle maailma, mis lihtsustab informatsiooni töötlemist ja vähendab inimese osaluse osakaalu teatud protsessides. Traditsioonilises laevanduses ka toimuvad automatiseeritud protsessidega seotud muutused ka, mis võivad tulevikus viia osaliselt või täielikult autonoomse laevanduse juurde. Käesoleva lõputöö esimene osa on üles ehitatud nii, et anda ülevaadet autonoomsete laevade olemusest, nende eripärast ja selle valdkonna olemasolevate projektidest.

1.1 Autonoomsete laevade olemus ja tasemed

Autonoomsete laevadega seotud riskide ja eeliste määramiseks, ning nende mõju laevandussektorile uurimiseks tuleb enne anda definitsiooni mõistele „autonoomsus“. Kasutades sõnaraamatu definitsiooni, tähendab mõiste "autonoomsus" õigust teha otsuseid iseseisvalt. Masinate ja süsteemide puhul tähendab mõiste "autonoomne" võimet tegutseda ilma inimese otsese kontrollita. (Cambridge Dictionary, Autonomous)

Rahvusvahelise Mereorganisatsiooni (*IMO*) poolt autonoomne merepinnal liikuv laev (*MASS*) on määratletud kui laev, mis suudab erineval määral tegutseda sõltumatult inimesega vastastikmõjust (*IMO*, 2018). Autonoomsete merepinnal liikuvate laevade uurimiseks on erinevate reguleerivate asutuste poolt määratletud erinevad autonoomsuse tasemed. Käesolevas lõputöös käsitletakse allpool *IMO* ja *Bureau Veritas*-e poolt esitatud andmeid. Neid tabeleid kasutatakse selleks, et näidata *MASS* autonoomsuse tasemeid Rahvusvahelise Mereorganisatsiooni ja *Bureau Veritas*-e poolt avaldatud uurimisartiklite põhjal.

Tabel 1 IMO poolt määratletud autonoomsuse tasemed laevadele

Autonoomsuse tase	Juhitav inimese poolt	Kirjeldus
Tase 1	Jah	Automaatsete protsesside ja otsustusabi süsteemidega varustatud laev koos laevaperega pardal. Laeva meeskond kontrollib pardasüsteeme ja funktsioone.
Tase 2	Jah/ Ei	Kaugjuhitav laev koos laevaperega pardal.
Tase 3	Jah/ Ei	Kaugjuhitav laev ilma laevaperega pardal. Laeva juhtimine toimub kaugel asuva ja protsessi eest vastutava isiku poolt.
Tase 4	Ei	Täielikult autonoomne laev. Laeva juhtimise ja otsuste vastuvõtmise eest vastavad laeva automaatsed süsteemid.

Allikas: IMO, RSE, 2021

Autonoomsete merepinnal liikuvate laevade puhul käsitletakse autonoomsuse taset olenevalt inimese poolt süsteemile delegeeritud otsuste tegemise astmest. Tuleb määratleda autonoomsuse taset, et teha vahet inimese ja süsteemi rolli vahel laeva juhtimisfunktsioonides. (Bureau Veritas, 2019)

Tabel 2 Laevade autonoomsuse tasemed vastavalt *Bureau Veritas* klassifikatsioonile

Autonoomsuse tase	Juhitav inimese poolt	Kirjeldus
A0	Jah	Automatiseeritud või käsitsi tehtavad toimingud on inimese kontrolli all. Inimene teeb kõik otsused ja kontrollib kõiki funktsioone.
A1	Jah/ Ei	Otsusabi süsteem. Süsteem teeb ettepanekuid meetmete võtmiseks. Inimene teeb otsuseid ja tegutseb vastuvõetud otsuste põhjal.
A2	Jah/ Ei	Süsteem pakub otsuseid. Inimene kinnitab või lükkab neid tagasi.
A3	Jah/ Ei	Süsteem valib funktsioone ilma inimese reaktsiooni ootamata. Süsteem ei oota kinnitust. Inimene on alati teavitatud otsustest ja toimingutest.
A4	Jah/ Ei	Süsteem valib funktsioone ilma teavitamata inimest, välja arvatud hädaolukordades. Süsteem ei oota kinnitust. Inimest teavitatakse ainult hädaolukorras.

Allikas: Bureau Veritas, 2019

Kõrge automatiseerituse astme puhul süsteemi vea risk on suur, samas kui madala automatiseerituse taseme puhul on inimliku vea risk suur. Laevade juhtimises inimeste poolt käsitletakse informatsiooni töötlemisega seotud tegureid: teabe olemasolu ja analüüs, otsuste ja tegevuste valik ning tegevuste rakendamine otsuste alusel. Mida suurem on laeva autonoomsuse aste, seda rohkem ülesandeid, mis on seotud eelnevalt loetletud teguritega, võib süsteem üle võtta. (Bureau Veritas, 2019)

1.2 Autonoomsete laevade arendamise ajalugu

Autonoomsete laevade kontseptsiooni mõistmiseks, tuleb lähemalt uurida autonoomsete laevade arengut alates idee esmakordsetest mainimistest kuni juba praegusel ajal olemasolevate projektideni. Paljud ettevõtted, sealhulgas *Rolls Royce*, *DNV*, *Norwegian University of Science and Technology (NTNU)*, *Kongsberg Gruppen*, *Sea Machines Robotics* ja muud ettevõtted üle maailma välja töötavad täiesti elektriliste ja autonoomsete laevade kontseptsioone ja süsteeme, et võimaldada mehitamata operatsioone ja infrastruktuurialgatusi, nagu autonoomsed sadamad ja

kiire andmete vahetus. Autonoomsete laevade valdkonna areng hõlmab suurt hulka projekte ja uuringuid ning käesolevas peatükis esitatakse autori arvates peamised projektid ajalises järjekorras. Esimesed viited tuleviku autonoomsete laevade kontseptsioonile leidsid kajastamist 1970. - 1980. aastate publikatsioonides.

Esimene digitaalne projekt *Ultra-Automatic Ship Project* oli kavandatud Jaapanis 1983. – 1988. aastatel ülesandega välja töötada kõrge astmega usaldusväärseid ja automatiseeritud operatsioonisüsteeme. Automaatne operatsioonisüsteemi vastutuse valdkonda kuulus mere- ja maismaa ühinemine, hõlmates selliseid elemente nagu laevandus avamerel, sadamasse sisenemine, sildumine, ankurdamine, lastikäitlus. See süsteem oli kavandatud nii, et laevu saaks juhtida ilma meeskonna sekkumiseta pardal ja saada tuge kaldal asuvast süsteemist, mis on seotud satelliitide kaudu. 1988. aastal simuleeriti kõiki süsteeme arvutis. (Hasegawa et al., IMTS)

2011. aastal *Korea Research Institute of Ship & Ocean Engineering (KRISO)* alustas projekti mis oli suunatud mehitamata veesõidukite (USV) arendamisele mereuuringute läbiviimiseks ja riiklike küsimuste tegelemiseks. Käesoleva projekti peamised uurimisvaldkonnad olid valitud keskkonnasõbraliku tulevase laevandustehnoloogia, laevade ja ookeanitehnika tehnoloogia, mereõnnetustele reageerimise ja mereliiklussüsteemi tehnoloogia ning veealuste robotite ja mereseadmete tehnoloogia. Uuringu raames ajavahemikus 2011-2018 oli kavandatud mehitamata veesõiduki süsteem nimetusega *ARAGON* ookeanivaatluseks ja mereseireks. (Son ja Kim, 2018)

Autonoomsete laevade järgmiseks arenguastmeks oli Euroopa Komisjoni poolt välja tööditud projekt *Maritime Unmanned Navigation through Intelligence in Networks (MUNIN)*, alates 2012. aastast). Selle projekti eesmärk oli uurida mehitamata laevade kontseptsiooni teostavust tehniliste, majanduslike ja õiguslike aspektide poolest. Projekti eesmärk oli töötada välja autonoomse laeva kontseptsiooni, mis on määratletud kui laev, mida juhivad peamiselt automaatsed pardaotsustesüsteemid, kuid mida kontrollib kaldal asuvast juhtimiskeskusest operaator. (MUNIN, 2013)

Autonoomsete laevade uurimisala muutus ja nõudis põhjalikumaid teadmisi selles valdkonnas. 2013. aastal loodi Norras *NTNU AMOS (Norwegian University of Science and Technology Centre for Autonomous Marine Operations and Systems)*, mille eesmärk oli luua maailma juhtiv keskus autonoomsete mereoperatsioonide ja juhtimissüsteemide alal. (NTNU AMOS)

Autonoomse navigatsiooni võimalike eeliste uurimise kõrval oli oluline rõhutada ka osaliselt või täielikult autonoomsete meresõiduvahendite kasutamise kaasnavaid riske. Selle eesmärgi

täitmiseks 2015. aastal ettevõtte *Rolls - Royce*-i poolt loodi projekt *The Advanced Autonomous Waterborne Applications Initiative (AAWA)*. Projekt AAWA oli suunatud autonoomsete laevandusoperatsioonidega seotud väljakutsete erinevates teadusvaldkondades uurimisele. (Offshore Energy, 2015)

Autonoomsete laevade areng on tihedalt seotud andmete turvalisuse ja kaitsmise küsimustega. Selle valdkonna areng nõudis uuringute läbiviimist, mis olid seotud võimega hallata laevadele paigaldatud kübertaristu süsteeme kaugjuhtimise teel või autonoomselt. 2016. aastal avaldas *Lloyd's Register* juhendi «*Cyber – enabled ships*». Juhend sisaldab teadmisi, mis on saadud mitmetes laevade küberkaitseprojektides osalemisel, sealhulgas autonoomse töötamist ja kaugjuhtimist puudutavaid juhiseid. (Lloyd's Register, 2016)

2017. aastal käivitasid Jaapani transpordiettevõtte *Mitsui O.S.K. Lines, Ltd. (MOL)* ja tema partnerid Jaapani valitsuse toetusel autonoomse meretranspordisüsteemi arendamise projekti. Projekt oli suunatud autonoomsete laevade tehnoloogiate väljatöötamisele ja arendamisele, mis suudavad tagada kindlaid, ohutuid ja tõhusai merevedusid. Iga osalev organisatsioon viis läbi teadusuuringuid konkreetses valdkonnas, sealhulgas olid infrastruktuuri arendamine, teadusuuringud sotsiaalvaldkonnas, uute tehnoloogiate kasutuselevõtt ja teiste mereorganisatsioonide teadlikkuse tõstmine uuringute käigus saadud tulemustest ning ärikontseptsioonide väljatöötamine. (MOL, 2017)

Arvukate uuringute tulemusena 2017. aastal ettevõtete *Rolls-Royce*-i poolt ja ülemaailmse puksiirvedude operaatoriga *Svitzer* oli esitatud maailmas esimene kaubanduslik kaugjuhitav laev - *Svitzer Hermod*. *Svitzer Hermod* ehitati 2016. aastal. Laeva katsetamise ajal oli laeva pardal kvalifitseeritud kapten ja meeskond, et tagada ohutu töö süsteemi rikke korral ning *Lloyd's Register*-i poolt avaldatud juhendi „*Cyber-Enabled Ships ShipRight Procedure*“, mis oli eelnevalt mainitud, soovitusi olid järgitud. (Rolls- Royce, 2017)

2017. aastal käivitas juhtiv mereelektroonika tootja - *Kongsberg Seatex* koos partneritega projekti Hull to Hull (*H2H*), Euroopa Liidu teadusuuringute programmi *Horisont 2020* raames. *H2H* projekti eesmärk oli Euroopa globaalse navigatsioonisatelliitide süsteemi (*GNSS*), *EGNOS* ja *Galileo* abil tagada ohutut navigeerimist teiste liikuvate laevade või kohakindlate objektide läheduses, aidates seeläbi meremeestel teha õigeid navigeerimisotsuseid ja luues põhitingimused autonoomsetele laevadele. (Hull to Hull, 2020)

2017.aastal oli esitatud *MV COSCO Shipping Aries*, esimene ülisuur 20 000 TEU konteinerlaev kõrge kübertasemega, mis kuulub *COSCO Shipping Container Lines*'ile. *MV COSCO Shipping Aries* sai esimese konteinerlaevana, mis sai *Lloyds's Register*-i poolt märkuse "*Cyber AL3 SECURE PERFORM*" oma energiajuhtimissüsteemi jaoks. Kübervõimelised süsteemid on laevadele paigaldatud süsteemid, mida tavapäraselt kontrollib laevapere, kuid mida nüüd on võimalik jälgida ja juhtida kas eemalt või autonoomselt koos laevapere liikmetega või ilma nendeta. (Lloyd's Register, 2017)

2018. aastast alustati tegelema autonoomsete laevade terveliku süsteemi arendamisega. 2018.aastal ettevõtted *Wilhelmsen* ja *KONGSBERG* asutasid ettevõtte *Masterly*. Ettevõtte eesmärk oli luua autonoomsete laevade jaoks täielikku ahelat, alates projekteerimisest ja arendusest kuni juhtimissüsteemide, logistikateenuste ja laevade käitamiseni. (KONGSBERG, 2018)

2018. aastal hakkasid ettevõtted *Rolls-Royce* ja *AXA Corporate Solutions* uurima võimalusi oma toodete ühendamiseks, et luua merendusturul uus pakkumine, kasutades *Rolls-Royce*'i *Ship Intelligence*'i süsteeme ja seadmeid ning *AXA* riskianalüüsi võimalusi olemasolevate ja tulevaste laevade toetamiseks, et luua autonoomsete laevade kindlustuse standardid. (Rolls-Royce, 2018)

Alates 2017. aastast *IMO* hakkas käsitlema autonoomset laevandust puudutavaid õiguslikke küsimusi. Uurimise eesmärgiks oli analüüsida olemasolevaid laevanduse reguleerivaid õigusnorme ja nende kohaldatavust erineva autonoomsuse astmega laevadele. Uuringus võeti arvesse inimliku, tehnoloogilise ja eksploatatsioonilise teguri mõju. (IMO, 2018)

2018. aastal Norra rahvusvaheline sertifitseerimis- ja klassifikatsiooniühing - *DNV GL* avaldas hõlmava autonoomseid ja kaugjuhitavaid laevu juhendi, et aidata luua turvalist alust uute tehnoloogiate jaoks. Juhendi koostamise põhjus oli vajadus kindlate standartide olemasolu, et võimaldada uute süsteemide turule tulekut ja tagada nende tehnoloogiate ohutu kasutuselevõtt. Automatiseerimise suurendamine kindlate ohutusstandardite olemasolu tingimusel pidi parandama laevanduse ohutuse, tõhususe ja keskkonnasõbralikkuse näitajaid. (Marine Insight, 2018)

MASS arendamisel läbi viidi teadusuuringuid eesmärgiga ehitada ja kasutada laevu, mis aitavad kaasa üleminekule keskkonnahoidlikumale energiatarbimisele ja tootmisele ning tõhusale ja ohutule, heitevabale multimodaalsele logistikale. 2019. aastal Hollandi lähimerevedude operaator *SAMSKIP* sai saastevaba automatiseeritud konteinerlaeva projekti – *SeaShuttle* arendamise juhiks.

Projekti raames kavatatakse välja töötada kaks elektrilaeva, mis töötavad hübriidkütuseelementidega, kasutades nii akut kui ka veeldatud maagaasi (LNG-t), mis sõidavad Oslo fjordi ja Rotterdami vahel. (Mittler, 2019)

Laevad vajavad puksiirteenuseid sadamasse sisenemiseks ja sealt lahkumiseks, sildumiseks ja muudeks toiminguteks. 2019. aastal *Keppel Singmarine Pte Ltd.* alustas autonoomse puksiiri arendamist – esimese autonoomse laeva Singapuris. Projekt hõlmab puksiiride moderniseerimist täiustatud süsteemidega, nagu positsiooni manööverdamine, digitaalne pilootnägemine, kokkupõrgete tuvastamine ja vältimine. (Lloyd's List, Keppel Singmarine, 2019)

2019. aastal *ST Engineering ja Kongsberg Norcontrol* ettevõtted alustasid *Next Generation Vessel Traffic Management System (VTMS)* projekti arendamise. *VTMS* on suunatud tehisintellekti algoritmide kasutamisele suure laevade liiklusega piirkondade ennustamiseks ja võimalikke kokkupõrkeolukordade vältimiseks. (Vincent Wee, VTMS, 2019)

2019. aastal viis klassifikatsiooniühing *DNV GL* edukalt läbi parvlaeva katsetused Norras *Remote Operation of Machinery and Automation Systems (ROMAS)* projekti raames, kusjuures laeva operaator juhtis laeva kaldal asuvast juhtimiskeskusest. Koos *DNV GL*-ga osalesid uuringus automaatikasüsteemide müüja Høglund, parvlaevaoperaator *Fjord1* ja *Norwegian Maritime Authority (NMA)*. Projekti põhiidee oli viia masinate juhtimisruum laevalt kaldal asuvasse masinate juhtimiskeskusesse, kus peainsenerid saavad juhtida ühe laeva või laevastiku mootori- ja abimasinate süsteeme. Peainsener juhtis laevu kaldal asuvast juhtimiskeskusest ja vastutas selliste aspektide eest nagu häirete käsitlemine, hooldus ja remont ning koordineerimine meeskonnaga. Kahel kolmest reisist olid reisijad pardal. (Späth, 2019)

2019.aastal Euroopa Kosmoseagentuur (*ESA*) allkirjastas koostöömemorandumi *OneSea* assotsiatsiooniga autonoomse meresõidu valdkonnas. *ESA* ja *OneSea* vahelise lepingu eesmärk oli soodustada kosmosepõhiste rakenduste arendamist, et analüüsida, võimaldada ja rakendada merenduse digitaliseerimist ja autonoomsust, kasutades uusima põlvkonna ühendusvahendeid.(One Sea, ESA, 2019)

Vaatamata sellele, et rohkem osa autonoomsete laevadega seotud projektidest oli esitatud Põhjamaa riikide poolt, on selles valdkonnas aktiivselt tegutsenud ka Aasia riigid. *Ettevõtte Zhuhai Yunzhou Intelligence Technology (ZYIT)* käivitas 2018. aasta lõpus koos *Zhuhai* valitsuse, Hiina klassifikatsiooniühingu (*China Classification Society*) ja *Wuhani* teaduse- ja tehnoloogiaülikooliga (*Wuhan University of Technology*) *Zhuhais* autonoomsete laevade

polügooni. 2019. aastal ole sõlmitud partnerlus *ZYIT* ja *Zhuhai Port Shipping* vahel automatiseeritud tehnoloogiate arendamiseks eesmärgiga rakendada seda *Xijiangi* jõel Lõuna-Hiinas asuval sisekaubandust teenindaval laeval. (Shen, 2019)

2019. aastal Jaapani suurim laevandusettevõtte *NYK Line* viis läbi katse, milles kasutati sõidu-ja veoautode vedamiseks laeva - *Iris Leader* - Jaapani ja Hiina vahel. Laev kasutas *Sherpa System for Real (SSR)* laeva navigatsioonisüsteemi, mis navigeerib laeva, arvutades keskkonnatingimuste põhjal optimaalse marsruudi. Süsteem arvutas kokkupõrke riski, määras automaatselt optimaalsed marsruudid ja kiirused, mis olid ohutud ja ökonoomsed, ning seejärel juhtis laeva automaatselt. See oli esimene autonoomse laeva katse, mis viidi läbi vastavalt *IMO* poolt määratletud ajutistele juhtpõhimõtetele "*Interim Guidelines for MASS trials*". (NYK, 2019)

2020. aastal käivitas *USA*-s asuv merepõhjauuringute ja ookeaniuuringute ettevõtte *Ocean Infinity* uue meretehnoloogia- ja andmekogumisetevõtte *Armada*. *Armada* eesmärk oli luua mehitamata autonoomsed veealused sõidukid (*AUV*), mis kasutaksid sonaritehnoloogiat, et kontrollida mere nafta- ja gaasirajatiste kaableid, ning taastuvaid energiaallikaid nagu avamere tuuleturbiinid, kuna need on akutoitel, mille tulemuseks on nullilähedased heitkogused. Laevade juhtimine toimub nii Austinis (Texas) kui ka Southamptonis (Inglismaa) asuvatest maismaarajatistest kogenud meremeeste poolt satelliitside kaudu. (Bakhsh, 2020) Esimene *Armada* laevadest lasti edukalt vette 2022. aastal Vietnamis (Ocean Infinity, 2022). 2023. aasta jaanuaris saabus *Armada* esimene laev *Norrasse - VARD Søviknes'i* laevatehasesse - pärast 2022. aasta novembris Vietnamis alanud esimest merereisi (Ocean Infinity, 2023).

Autonoomsete laevade valdkonna areng nõuab muutusi ka sadamatingimustes, eelkõige terminal rajatise puudutavates muudatustes ja parandustes. 2020. aastal on üks maailma suurimaid sadamaoperaatoreid - *DP World* teinud koostööd Dubais asuva autonoomsete sõidukite, robotika ja tehisintellekti spetsialistiga *DGWorld*, et varustada *Jebel Ali* sadam autonoomsete terminalisest sõidukite laevastikuga. Uute tehnoloogiate katsetused on näidanud, et tehisintellektipõhised tarkvaralahendused võivad suurendada tõhusust ja võimaldada soodsalt olemasolevate konteineriterminalide automatiseerimist majandusaspekti poolest. (DGWORLD, 2020)

2020. aastal sõlmisid Lõuna-Korea laevaehitusettevõtte *Daewoo Shipbuilding & Marine Engineering (DSME)* ja Rotterdami sadam (*Port of Rotterdam*) lepingu uuringute kohta smart-laevade ja sadamate valdkonnas. Selle ühiskokkuleppe raames oli uurimisülesandeks arendada

tehnoloogiaid, mis võimaldaksid „tarkadel laevadel“ kommunikeerida „nutikate sadamatega“. Lepingu eesmärk oli välja töötada standardid laevanduse digitaliseerimiseks ja süsinikdioksiidi heite vähendamiseks, et täita tulevaste klientide nõudeid ja ülemaailmseid keskkonnaalaseid eeskirju. (Lloyd's List, DSME, 2020)

2020. aastal Hiina, Taani, Soome, Jaapani, Madalmaade, Norra, Lõuna-Korea ja Singapuri lipu-, ranniku- ja sadamavaldajate esindajad käivitasid projekti „*MASS Port Network*“. Projekt oli suunatud autonoomsete merepinnal liikuvate laevade sadamates katsetamise ja kasutamise standardite ühtlustamisele. (Port of Rotterdam, 2020) Projekti eesmärk oli töötada välja juhised ja tingimused *MASS* katsetamiseks, mis on kooskõlas Rahvusvahelise Mereorganisatsiooni autonoomsete laevade ajutiste juhtpõhimõtetega "*Interim Guidelines for MASS trials*". Standardid peaksid hõlmama ühist terminoloogiat, kommunikatsioonivorme ja -standardeid, laevade aruandlust ja andmevahetust, et parandada süsteemide koostalitlusvõimet eri sadamates ja hõlbustada autonoomsete laevade katsetamist sadamate vahel. (Wee, 2020)

2021. aastal Rahvusvahelise Mereorganisatsiooni (*IMO*) Meresõiduohutuse Komitee (*MSC*) on viinud lõpule õigusliku reguleerimise läbivaatamise, et analüüsida asjakohaseid laevaohutuslepinguid, et hinnata, kuidas autonoomseid merepinnal liikuvaid laevu võiks reguleerida. Selle tulemusena määrati kindlaks *MASS* neli autonoomiaastet ning otsustati, et *MASS* õigus- ja reguleeriva raamistiku probleemide lahendamiseks tuleks välja töötada *MASS* koodeksi (*MASS Code*), mis sisaldaks eesmärke, funktsionaalseid nõudeid ja eeskirju, mis sobiksid kõigile neljale autonoomiaastmele. (IMO, RSE, 2021)

2021. aastal tegi maailma esimene autonoomne ja saastevaba konteinerlaev *Yara Birkeland* enne kasutuselevõttu oma esimese reisi Oslosse. (Yara International, 2022)

2022. aastal viisid *Mitsubishi Heavy Industries* ja *Shin Nihonkai Ferryh* edukalt lõpule maailma esimese täielikult autonoomse laeva navigatsioonisüsteemi näidiskatse *RoPax* – tüüpi parvlaeval - *Soleil*. Selle katsega demonstreeriti maailma esimest täielikult autonoomset navigatsioonisüsteemi 222-meetrisel parvlaeval, mis võimaldab autonoomset sadamas sildumist ja sadamast lahkumist, kasutades pööramis- ja tagasiliikumist ning navigatsiooni kiirusega kuni 26 sõlme. (Mitsubishi Heavy Industries, 2022)

2022. aastal alustas *IMO MSC* autonoomsete merepinnal liikuvate laevade eksploatatsiooni reguleerimiseks mitteimperatiivse sihtdokumendi väljatöötamist, mis peaks jõustuma 2024. aastal.

Mitteimperatiivse sihtdokumendi alusel töötatakse välja imperatiivne *MASS*-koodeks (*MASS Code*), mis peaks jõustuma 2028. aastal. (IMO, Autonomous shipping, 2022)

Yara Birkeland võeti Porsgrunnis kommertskasutusse 2022. aasta kevadel. Esimestel aastatel läheb laev järk-järgult üle täisautonoomsele juhtimisele. (Yara International, 2022)

2022. aastal lõpetas *Hyundai Heavy Industries* poolt asutatud *Avikus* edukalt esimese kaubalaeva ookeaniülese reisi (veeldatud maagaasi laev *Prism Courage*), mis kasutas autonoomset navigatsioonitehnoloogiat. (Avikus, 2022)

Jaanuaris 2023, *Korea Shipbuilding & Offshore Engineering (KSOE)* ja *American Bureau of Shipping (ABS)* alustasid esimese autonoomse suure kaubalaeva väljatöötamist, mis suudab pikema aja jooksul tegutseda ilma tüürimehe, inseneri või isegi meremehe abita, mida juhib tehisintellekt. (Clean Shipping International, 2023)

Kuna autonoomsete laevade valdkonnaga seotud projektide arv kasvab, uurib üha rohkem ettevõtteid tehisintellekti kasutamist laevanduses. 2023. aasta jaanuaris sõlmis *NYK Line* koostöölepingu Jaapani tehnoloogiaettevõttega *Gheila INC*. Koostöö eesmärk on teadus- ja arendustegevus autonoomsete laevade ja kokkupõrke vältimise navigatsiooni valdkonnas. (Wijaya, 2023)

Hyundai Intelligent Navigation Assistant System on veel üks näide tehisintellekti kasutamisest laevanduses. Süsteem kasutab liitreaalsust, võimaldades laevadel integreeritud tehisintellekti andmete põhjal optimaalseid marsruute ideaalse kiirusega kavandada ja kokkupõrkeid vältida. Süsteem paigaldatakse Korea registris ja Libeerias registreeritud laevadele alates 2023. aasta keskpaigast. (Wijaya, HHI, 2023)

Viimase kümne aasta jooksul on autonoomseid laevu puudutavad teadusuuringud viinud selle valdkonna projektide arvu suurenemiseni. On läbi viidud erinevate laevatüüpide autonoomsete võimetega katsetused, on alustatud autonoomseid laevu puudutavate normatiiv- ja õigusaktide väljatöötamist, on loodud koostöö laevandussektori suuremate ettevõtete ja asutuste vahel. Vastavalt statistilistele andmetele aitab kaasa autonoomse tehnoloogia, automatiseeritud navigatsioonisüsteemide ja *MASS* areng kogu valdkonna mõju suurendamisele rahvusvahelisel tasemel ajavahemikus 2021-2028 (Fortune Business Insights, 2022) (Dean et al., 2022).

1.3 Autonoomsete laevade projektid

Käesolevas peatükis on kirjeldatud erineva autonoomsuse astmega laevade projektid eesmärgiga näidata, kuidas laevade funktsionaalsus erineb sõltuvalt automatiseerituse tasemest. Allpeatükides käsitletakse järgnevad MASS projektid: *Yara Birkeland*, *Soleil*, *Prism Courage*. Andmed on kogutud tegutsevatest autonoomsetest laevadest, mis on võetud kasutusele 2022.aastal.

1.3.1 Yara Birkeland

2017. aastal ettevõtte *Yara International* ja *Kongsberg Maritime* sõlmisid lepingu eesmärgiga projekteerida ja ehitada maailma esimese täielikult automatiseeritud ja isejuhtiva kaubalaeva heitkoguste nullastmega (KONGSBERG, 2017). *Yara International* on üks maailma suurimaid mineraalväetiste tarnijaid (*Yara International*, 2023). *Kongsberg Maritime* on Norra tehnoloogiaettevõtte, mis pakub positsioneerimis-, mõõdistamis-, navigatsiooni- ja automaatikasüsteeme kaubalaevadele ja avamererajatistele (*Kongsberg Maritime*, 2023).

Yara Birkeland on varustatud 6,7 MWh akusüsteemiga koos sisseehitatud vedeljahutusega, et tagada optimaalne töötemperatuur. *Leclanché SA* poolt esitatud akutehnoloogia varustab laeva akutoitega, mida laetakse rohelisest hüdroelektrijaamast saadud elektrienergiaga. Eeldatakse, et *Yara Birkelandi* akusüsteem vähendab kasvuhoonegaaside heitkoguseid, mis vastavad 40 000 konteinerilaevareisile aastas, parandab liiklusohutust, vähendab mürasaastet ja parandab logistika tõhusust. (*Leclanché*, 2021)

Yara Birkeland võeti Porsgrunnis kommertskasutusse 2022. aasta kevadel eesmärgiga vedada väetiseid *Yara* Porsgrunni vabrikust sadamatesse Brevikis ja Larvikus. Aastaks 2024 peab laev olema sertifitseeritud täielikult autonoomseteks operatsioonideks ja vastama *IMO* poolt määratud autonoomsuse astmele - "4. tase" (täiesti autonoomne laev). Autonoomsed operatsioonid võetakse kasutusele kahe aasta jooksul. (*Yara International*, 2022)



Joonis 1 Yara Birkeland

Allikas: Yara International, 2022

Projekti esimeses etapis laev on varustatud eemaldatava silla koos manööverdamis- ja navigatsiooniseadmetega. Viimases etapis, kui laev on valmis täielikult autonoomseks eksploatatsiooniks, võetakse need seadmed kasutusest ära. Viimase etapi operatsioonide hulka kuuluvad laeva laadimine ja lossimine kaugjuhitavate elektriliste kraanade abil. Laevale paigaldatakse ka automaatne sildumissüsteem - sildumine ja lahtihaakimine toimub ilma inimese sekkumiseta ja ei nõua spetsiaalseid seadmeid dokis. (Kongsberg, Yara Birkeland, 2017)

1.3.2 Soleil

Soleil on reisijate- ja sõidukiparvlaev, mille projekteerisid *Nippon Foundation*, *Mitsubishi Shipbuilding Co., Ltd.* ja *Shin Nihonkai Ferry Co., Ltd.* projekti *MEGURI 2040 (Fully Autonomous Ship Program)* raames. 2022. aastal *Soleil* sai esimeseks 222-meetrilise pikkusega reisijate- ja sõidukilaevaks, mis tegi täielikult autonoomse navigeerimisega reisi alates sadamast väljumist ja selle sisenemiseni. Sõidu ajal läbis *Soleil*, mis on varustatud täielikult autonoomsete laevajuhtimissüsteemidega, 240 kilomeetrit *Shinmoji* ja *Iyonada* sadamate vahel. Reis võttis aega seitse tundi kiirusega 26 sõlme. (The Nippon Foundation, 2022)



Joonis 2 Soleil

Allikas: The Nippon Foundation, 2022

Laev on varustatud suure täpsusega sensorpildi analüüsisüsteemiga, mis suudab tuvastada teisi laevu isegi pimedas, *SUPER BRIDGE-X* laeva navigatsioonisüsteemiga, mis sisaldab automatiseeritud objektide vältimisfunktsiooni, ning täiustatud automaatse sildumise/lahtihaakimise operatsioonisüsteemiga, mis suudab sooritada pöörde- ja tagasikäike. Järgmine arenguetapp on varustada laeva mootori seisundi jälgimise tehnoloogiatega, et rikete vältimiseks, ning samuti navigatsiooniliste andmete kaitserakendustega. (The Nippon Foundation, 2022)

1.3.3 Prism Courage

Prism Courage on 2021. aastal ehitatud LNG-tanker, mis sõidab Panama lipu all (Marine Traffic, 2021). 2022. aastal tegi *Prism Courage*, 122 000-tonnine ülisuur LNG-tanker, mida opereerib *Avikus* (HD Hyundai tütarettevõte), ookeanreisi Mehhiko lahest Lõuna-Koreasse Panama kanali kaudu. (HD Hyundai, 2022) Teekonna teisel poolel (10000 km 20 000 km-st) kontrollis laeva autonoomne navigatsioonisüsteem *HiNAS 2.0*, mis juhtis laeva, otsis optimaalseid marsruute ja

parimaid kiirusi *Hyundai Global Service*'i tehisintellekti (*Integrated Smartship Solution (ISS)*) alusel. See võimaldas nii navigeerimist kui ka ilmastiku- ja lainekõrguse kompenseerimist ning mööduvate laevade seaduslikku vältimist reaalaajas juhtimise abil.



Joonis 3 Prism Courage

Allikas: Marine Traffic, 2021

IMO andmetel vastab *Prism Courage* autonoomse navigatsioonitehnoloogia teisele tasemele, mille puhul võtab peamised otsused vastu laev, kuid meeskonnaliikmed peavad olema pardal, et hädaolukorras sekkuda. (HD Hyundai, 2022)

1.4 Autonoomsete laevade õiguslik regulatsioon

Merendussektor aktiivselt areneb tehnoloogiate ja digitaliseerimise valdkonnas, valmistades ette tugeva aluse *MASS* ülemaailmseks kasutuselevõtuks. Rahvusvahelised ja kaubandusorganisatsioonid viivad läbi teadusuuringuid ja arendustöid *MASS* valdkonnas eesmärgiga avastada erineva autonoomsuse tasemega laevade eeliseid ja puuduseid. Samal ajal seotud *MASS* projektide arendamisega uurivad rahvusvahelised organisatsioonid meresõiduohutuse, meremeeste poliitika, inimtegurite, laevaõnnetuste ja nende tagajärgede uurimise ning vastutusega seotud õiguslikke küsimusi.

Kooskõlas *MASS*-projektide arendamisega ja nende järkjärgulise kasutuselevõtuga alustas *IMO* 2017. aastal regulatiivset eeluuringut, uurides, kas tavapäraste mehitatud laevade suhtes kohaldatavad *IMO* rahvusvahelised konventsioonid kehtivad *MASS* suhtes. (*IMO*, RSE, 2021) 2021. aastal 103. istungi raames viis Meresõiduohutuse Komitee lõpule autonoomsete merepinnal liikuvate laevade kasutamise regulatiivse läbivaatamise ja avaldas selle tulemused. (*MSC*, 103rd session, 2021) Rahvusvaheliste regulatiivsete konventsioonide analüüsi tulemisena tehti kindlaks, milliseid sätteid võiks kohaldada *MASS* suhtes, millised võiksid takistada autonoomsete merepinnal liikuvate laevade tööd, milliseid õigusakte tuleks muuta või töötada välja uusi sätteid. (*IMO*, RSE, 2021)

Läbivaatamise käigus tuvastati vajadus eraldi reguleeriva raamistiku järele rahvusvahelisel tasemel vähe või üldse mitte inimeste sekkumisega töötavate autonoomsete merepinnal liikuvate laevade jaoks, kuna varem kasutatud laevade reguleeriv raamistik hõlmas personali olemasolu laeva pardal ja inimeste osalemist laeva juhtimises. (Srinivasan, 2022) 2021. aasta oktoobris *MSC* 104. istungi tulemusena võeti vastu otsus välja töötada õigusliku koodeksi, mis reguleeriks *MASS* tegevust. (*MSC*, 104th session, 2021) Pärast Meresõiduohutuse komitee 105. istungi 2022. aastal kiideti heaks autonoomseid merepinnal liikuvaid laevu puudutava tööplaani, mis näeb ette mitteimperatiivse sihtdokumendi väljatöötamise, mis peaks jõustuma 2024. aastal. (*MSC*, 105th session, 2022) Mitteimperatiivse koodeksi väljatöötamiseks oli moodustatud *MASS* töörühm, mille osalejateks on *IMO* Meresõiduohutuse Komitee, *IMO* Õiguskomitee (*LEG*) ja *IMO* Mereliikluse Hõlbustamise Komitee (*FAL*). Sihtdokumendis käsitletakse *MASS* terminoloogiat: mõistet "kapten" (sealhulgas "kapteni" rolli ja vastutuse selgitamine), meeskonna või vastutava isiku tähendus; kaugjuhtimiskeskus (kaugjuhtimiskeskustele esitatavate nõuete selgitamine); operaatori kui meremehe määratlus; soovitusel *MASS* määratluse ja autonoomsuse astmete muudatuste kohta. (*BIMCO*, Ashok Srinivasan, 2022)

Mittekohustuslik *MASS*-koodeks töötatakse välja tingimusel, et seda kohaldatakse kaubalaevade suhtes, eesmärgiga kaaluda selle kohaldamist reisilaevade suhtes. Mitteimperatiivse *MASS*-koodeksi kohaldamise põhjal töötatakse välja kohustuslik *MASS*-koodeks, mille jõustumine on kavandatud 2028. aasta jaanuaris. (*MSC*, 105th session, 2022)

2 Uurimismetoodika ja andmete analüüs

Käesolevas töös kasutas autor uuringuosa kirjutamiseks, andmete kogumiseks ja analüüsimiseks andmeid erinevatest teadusartiklitest, projektidest ja statistilistest andmetest. Selline informatsiooni kogumise meetod aitab vastata selle töö peamistele uurimisküsimustele ja tuua välja autonoomsete laevade kasutuselevõtu mõju laevanduse valdkonnale tervikuna. Valitud artiklite põhjal on võimalik tuvastada ja hinnata, kuidas autonoomsete laevade areng mõjutab meretranspordi sektorit, selle tugevaid külgi ja peamisi riske.

2.1 Autonoomsete laevade SWOT-analüüs

Käesolevas töös esitatud *SWOT*-analüüsi peamine eesmärk on tuvastada ja hinnata *MASS* tugevaid ja nõrku külgi, võimalusi ja ohte. See analüüs annab lühiülevaate autonoomsetest merepinnal liikuvatest laevadest. Autonoomsetel merepinnal liikuvatel laevadel on potentsiaalseid eeliseid, aga *MASS* kasutuselevõtul on ka suuri probleeme, sealhulgas tehnoloogilised, õiguslikud ja regulatiivsed piirangud ning küberturvalisuse riskid. Kuna autonoomsed tehnoloogiad arenevad edasi ja eeskirjad muutuvad selgemaks, kasvab autonoomsete merepinnal liikuvate laevade kasutamine lähiaastatel tõenäoliselt.

2.1.1 MASS tugevused

1. **Autonoomsete laevade kasutuselevõtt võib aidata vähendada või vältida inimteguri mõju ja suurendada ohutust laevanduses.** Inimtegur on üks peamistest teguritest, mis mõjutab inimeste elu ohutust laevade pardal ja on enamiku õnnetuste põhjuseks merendussektoris. Meremeeste professionaalsusest ja pädevusest sõltub elu ohutus ja turvalisus merel, merekeskkonna kaitse ja üle 80% maailma kaubandusest. (IMO, Human Element) Sellel teemal on kirjeldatud mitmesuguseid analüüse ja ühe sellise uuringu tulemused on esitatud selles peatükis. Vastavalt kvalitatiivse analüüsi tulemustele (Wróbel et al, 2017), milles uuriti 100 laevaõnnetust 119 laevade osalemisega ja mehitamata süsteemi mõju õnnetuste tõenäosusele, tehti järelduse, et autonoomsuse kasutuselevõtt ja meeskondade eemaldamine laevadelt võib vähendada õnnetuste tõenäosust, eriti juhtudel, kus inimtegevus on otseselt kaasa aidanud õnnetuste toimumisele. See kehtib eelkõige navigatsiooniga seotud õnnetuste puhul, nagu madalale sõit või kokkupõrked, mis on tingitud meeskonnaliikmete vähesest olukorrateadlikkusest või hooletusest.

2. **Autonoomsete merepinnal liikuvate laevade kasutuselevõtt võib vähendada piraatide rünnakute ohvrite arvu.** Piraatlus, relvastatud rünnakud meeskondade vastu ja pantvangide võtmine on rahvusvaheline laevandusprobleem. Piraatide rünnakud toimuvad erinevate laevatüüpide vastu, nende hulgas on puistlastilaevad, konteinerilaevad, üldlastilaevad tankerid, tugilaevad, kalalaevad ja teised laevade liigid. (ICS , 2018) 2021. aastal langes maailmas rünnatud laevade arv võrreldes 2020. aastaga 195 laevalt 132 laevale (Statista Research Department, 2022). Vastavalt Rahvusvahelise Merebüroo Piraatluse Aruandekeskuse (*IMB PRC*) andmetele vähenes 2022. aastal piraatlusjuhtumite ja relvastatud röövimiste arv kogu maailmas võrreldes 2021. aastaga 13% (kokku on 115 laeva). Vaatamata statistilistele andmetele, mis kajastavad piraatide rünnakute vähenemist, on piraatluse ja relvastatud röövimiste ohu tase merel, samuti ründajate ettevalmistuse tase ja tegutsemisviis erineb sõltuvalt piirkondadest ja võib ka kiiresti muutuda. Kuna laevad võivad olla eriti haavatavad ankrus olles, peaksid kaptenid ja meeskonnaliikmed olema eriti tähelepanelikud, kui nad viibivad kõrge riskiga sadamates. (Gard Marine & Energy Insurance, 2023)

Meeskonna eemaldamine laevast aitab vähendada meremeeste ründamise ja pantvangi võtmise ohtu. Paremaks mõistmiseks võib tuua näite 3. taseme *MASS* (kaugjuhitav laev ilma meeskonnata pardal) ja 4. taseme autonoomsest laevast (täiesti autonoomne laev). Kaugjuhitava laeva puhul toimub kaugseire ja vajadusel laeva juhtimine kaldal asuvast juhtimiskeskusest. Täiesti autonoomse laeva juhul juhib laeva tehisintellekt, mis on võimeline tegevust ise reguleerima, ilma meeskonnaliikmeteta pardal. Olukorras, kui laeva ründavad piraadid, peamised kahjustused tekivad lastile ja/või laeva opereerimis-/juhtimis süsteemile, kuid midagi ei ohusta meeskonnaliikmete elu.

3. **Autonoomsete lavade eksploateerimine võib vähendada negatiivset keskkonnamõju ja heitkoguseid.** Laevandus on oluline osa ülemaailmsest rahvusvahelisest kaubandusest, kuid samas on laevandus üks suurimaid reostuse ja süsihappegaasi heitkoguste allikatest maailmas.

Rohkem kui kolm protsenti kogu maailma süsihappegaasi heitkogustest pärineb laevandussektorist (European Commission, 2022). Suurem osa heitkogustest pärineb konteinerilaevadelt, puistlastilaevadelt ja üldlastilaevadelt. (UNCTAD, 2022) Tänapäeval kasutavad enamik ookeanilaevu ja konteinerilaevu laeva liikuma panemiseks diiselmootoreid. Diislikütuse kasutamine suurendab kasvuhoonegaaside heitkoguseid ning

diiselmootorite heitgaasid sisaldavad merekeskkonnale ja inimeste tervisele kahjulikke saasteaineid (European Commission, 2022). Laevade ehitamisaasta ja nende vanus on veel üks olulisematest teguritest, mis mõjub keskkonnaseisundile. Vastavalt „Review of Maritime transport 2022“ aruandes ÜRO Kaubandus- ja Arengukonverentsiga esitatud statistilistele andmetele, suureneb rahvusvahelise laevastiku keskmine vanus iga aastaga, mis negatiivselt mõjutab ökoloogiat, sest vanemad laevad saastavad keskkonda rohkem. (UNCTAD, 2022)

MASS projekteerimisel keskenduvad rahvusvahelised ettevõtted tehniliste ja eksploatatsiooniliste meetmete väljatöötamisele, mis aitavad vähendada keskkonna reostust. Autor arvab, et autonoomsed lahendused võivad oluliselt mõjutada üldist kütusekulu, optimeerides marsruuti ja kiirust vastavalt ilmastiku- ja keskkonnatingimustele. Elektrienergiaga töötavate autonoomsete laevade arendamine (Yara Birkeland on üks näide nendest) ja eespool nimetatud integreeritud meetmete rakendamine võib viia saasteainete heitkoguste vähenemiseni.

- 4. Autonoomsete laevade kasutamine on majanduslikult tõhus tänu väiksematele kuludele ja meeskonna arvu vähenemisele.** Meremeeste tööjõukulud moodustavad ligikaudu 40 protsenti laevade üldistest tegevuskuludest. Need igapäevased kulud hõlmavad palku, toiduvarusid, reisi- ja kodumaale tagasipöördumist, pensione, kindlustust ja kulusid meeskonnaliikmete vigastuse korral (isikukahjudega seotud kohtuvaidlusi). (Pribyl, Weigel, 2017) Meeskonnaliikmete arvu vähendamine laeva pardal või meremeste teenustest loobumine aitab vähendada laeva üldisi tegevuskulusid. MASS veel üheks eeliseks, et neid saab projekteerida nii, et asendada laevapere majutamiseks vajalikku ruumi lasti paigutamiseks ruumiga. Suurema lasti koguse mahutamine suurendab kasumit.

2.1.2 MASS nõrkused

- 1. Autonoomsete laevade arendamine ja kasutuselevõtt nõuab märkimisväärseid investeeringuid tehnoloogiasse ja infrastruktuuri.** Autonoomsete laevade kasutuselevõtt vähendab tegevuskulusid, kuid autonoomsete laevade projektide väljatöötamine arendusfaasis nõuab suuri investeeringuid. (Callum, 2018) Ohutuks eksploatatsiooniks autonoomne laev peab olema varustatud spetsiaalsete tehniliste seadmetega (autonoomne navigatsioonisüsteem, liikumisandurid, positsioneerimis- ja

seiresüsteemid, elektrienergiasüsteemid, täiustatud mootor ja muud olulised tehnilised seadmed) ning see omakorda suurendab laeva tootmiskulusid.

MASS nõuab spetsiaalset infrastruktuuri sidepidamiseks, sildumiseks ja lasti käitlemiseks, mis suurendab kulusid ja piirab tegevuspiirkondi, sest ilma vajaliku infrastruktuurita ei ole autonoomsetel laevadel piisavalt tuge tegevuse teostamiseks. (Hogg, Ghosh, 2016)

2. **Autonoomsed laevad on haavatavad küberrünnakute suhtes, mis võivad ohustada laeva turvalisust ja häirida laeva tegevust.** Kaasaegsed tehnoloogiad annavad võimalust kontrollida, juhtida ja sekkuda kaugelt laevade hooldusse ja tegevusse, ning see mõjutab positiivselt laevade tõhusust. Negatiivsest seisukohast käsitledes, tihe seotus tehnoloogiaga toob kaasa vajaduse kõrgendatud nõuete järele turvalisuse ja kaitse valdkonnas.

Autonoomsete laevade ebaturvalisus võib viia keskkonnakatastroofideni, mida põhjustavad kokkupõrked teiste laevade ja sadamarajatistega, laevade kaaperdamine. Autonoomsete laevade projekteerimisel arendatakse üha arenenumaid süsteeme, sealhulgas: autonoomne navigatsioonitehnoloogia ja satelliitnavigatsioon, automaatsed identifitseerimissüsteemid, andurid laeva asukoha ja ümbruse äratundmiseks; sidepidamisvõimalused baasiga suhtlemiseks, laeva seisundi jälgimiseks ja korrigeerimiseks, süsteemid ja salvestusruumid andmeedastuseks muud tehnilised seadmed ja süsteemid (CHO et al., 2022) Autonoomsete laevade puhul võivad eespool kirjeldatud olukorrad olla võimalikud, kuna laevadele paigaldatud keerulised süsteemid ja seadmed võivad olla häiritud või välja lülitatud küberrünnakute tõttu. *MASS* on tehnoloogiliselt arenenud laevasüsteemid, nii et mida kõrgem on laeval kasutatavate süsteemide keerukuse tase, seda suurem on andmete haavatavuse ja sellega laeva tegevuse häirimise oht.

3. **Kindlustusküsimused, mis on seotud lasti ja/ või laeva röövimisega.** Laeva- ja lastikindlustus on oluline, et piirata rahalise kahju riski lasti või laeva kahjustumise või kaotamise korral. Tavapärased relvastatud piraatide rünnakud võivad olla ebaefektiivsed, arvestades autonoomsete merepinnal liikuvate laevade täiustatud konstruktsiooni, mis raskendab laevale sisenemist. Autonoomsed laevad on aga potentsiaalselt haavatavad küberrünnakute suhtes, nii et kui *MASS* satub küberkurjategijate kätte, on oht, et nad saavad laeva ja lasti, võttes pardasüsteemid enda kontrolli alla. Eeldatakse, et autonoomsed laevad

on oma tegevuse teostamiseks varustatud uuendusliku tehnoloogiaga, mille arendamisse on tehtud suuri investeeringuid. Laeva või lasti kaotamise korral küberrünnaku tagajärjel peavad kindlustusfirmad täielikult hindama kahju olenevalt olukorrast, sest kahju võib ulatuda lasti kaotusest kuni pardasüsteemide kahjustamiseni, mis võib kaasa tuua suuremad ja kallimad kindlustuskulud. Sellest tuleneb küsimus, kas kindlustusfirmad oleksid valmis selliseid laevu koos lastiga kindlustama? Tuleb arvestada, et autonoomsete laevade kindlustuskulud võivad olla suuremad kui mehitatud laevade puhul.

4. **Autonoomsete laevade eksploatatsiooni ja vastutuse jaotamisega seotud õigusküsimused.** Autonoomsete laeva loomise põhiidee seisneb selles, et laevad varustatakse tehnoloogiliselt täiustatud süsteemidega, mis on võimelised tegema otsuseid ja sooritama toiminguid laeva navigatsiooni ja juhtimise osas, mida varem tegi laevapere. (SAFETY4SEA, 2022) Ilma meeskonnata pardal ei ole inimene ja inimlikud eksimused enam peamine merel toimuvate laevaõnnetuste põhjus. Selliste olukordade ja autonoomseid laevu puudutavate õigusküsimuste selgitamisel võib tekkida raskusi vastutuse ja kahjude kindlaksmääramisel, sest inimese osalemise ja tema otsustega seotud õnnetuse asemel on tegemist süsteemi veast/ olukorra valearvestusest süsteemi poolt/ küberrünnakust süsteemile tingitud õnnetusega.

Kui autonoomsed süsteemid võtavad üle ülesandeid, mida tavaliselt täidavad töötajad, ja kui äritegevuse teostamiseks puuduvad töölepingud, peab seadus otsustama, kas anda autonoomsetele süsteemidele juriidilise isiku staatus, et jagada riske tõhusalt ja õiglaselt. (Ozdel, 2021)

5. **Autonoomsetel laevadel võib esineda piiranguid kohanemisel mittestandardsete olukordadega.** Autonoomsetel laevadel on oma eeliseid, kuid piiratud kohanemisevõime on autonoomsete laevade jaoks tõsine probleem. Erinevalt meeskonnaga juhitud laevadest puudub autonoomsetel laevadel kogemus ja intuitsioon, et reageerida ettenägematutele olukordadele. See tähendab, et nad ei pruugi olla piisavalt kohanenud, et tulla toime ebastandardsete olukordadega, näiteks ootamatute ilmamuutustega või ootamatute mehaaniliste rikutega.

Näitena võib tuua COLREG reegli 17, osad (a) ja (b), kus on määratud (COLREG (a), 1972), et juhul kui kokkupõrge on ilmne, peab laev manöövrit tegema või võtma meetmeid, mis võimaldavad kokkupõrget kõige paremal ja teostataval viisil vältida. Kui näiteks tekib

olukord, kus üks laevadest peab vastavalt reeglitele andma teed teisele laevale, kuid mingil põhjusel ei suuda seda teha, võib teisel laeval asuv kapten, analüüsides olukorda, otsustada tahtlikult suunata laeva madalale sõitma, et vältida kokkupõrget. Tehisintellekti poolt juhitud autonoomne laev sarnases olukorras, kus tehisintellekt reeglite alusel analüüsib olukorda ja hindab seda nii, et teine laev peab teed andma, ei muuda oma kiirust ja jätkab oma teed. Kui olukord ei vasta reeglitele ja esimene laev ei anna teisele teed, siis kas tehisintellekti algoritmid suudavad olukorras orienteeruda ja vajadusel reegleid rikkuda? Autor arvab, et ettenägematus olukorras suudab inimene (laevakapten) tänu oma loomuliku inimloomusele leida olukorra lahendamiseks mittestandardseid lahendusi, samas kui tehisintellekti jaoks on selliste otsuste tegemine hetkel keeruline ülesanne.

Samal ajal täisautonoomsetel laevadel on tõsiseid riske, mis on seotud andurite defektide ja tarkvaravigadega. (Issa et al., 2022) Tajusüsteemid või andurid annavad piisavalt teavet, et võimaldada autonoomsete süsteemide eksploatatsiooni ideaalsetes tingimustes. Ebasoodsad ilmastikuolud (RB, 2022) võivad raskendada andurite ja algoritmide jaoks teabe saamist.

Ilmastikutingimuste mõju autonoomsele laevandusele ei ole veel täielikult mõistetav, kuna autonoomseid laevu ei ole veel ulatuslikult kasutusele võetud. Siiski on olemas uuringuid (Zang et al., 2019), mis rõhutavad ebasoodsate ilmastikutingimuste negatiivset mõju autonoomsetele transpordivahenditele, mis sarnaselt autonoomsete laevadega on varustatud sensorite ja navigatsioonialgoritmidega.

2.1.3 MASS võimalused

1. **MASS võivad mängida rolli logistiliste probleemide lahendamisel linnaveeteedel, näiteks kaubaveo või linnaekskursioonide puhul.** Linna teed seisavad silmitsi selliste logistiliste probleemidega, nagu piiratud ruum ja suur liiklus. Linnade ummikutest tingitud madalad liikumiskiirused põhjustavad linnas toimuva kaubaveo ebaefektiivset jaotamist. (Rodrigue, 2017) Autonoomsed laevad võivad aidata neid probleeme lahendada, vähendades ummikuid ja heitkoguseid ning pakkudes uusi transpordi- ja turismivõimalusi. Ühe näitena võib pakkuda, autonoomsete laevade kasutamist kaubaveoks sellistes linnades nagu Amsterdam, kus on liigikaudu 100 km kanaleid.

Autonoomse meretranspordi kasutamine võib tõhusalt ümber korraldada olemasoleva infrastruktuuri, et pakkuda elanikele puhtamat õhku, vähem ummikuid ja paremat

elukvaliteeti. Autonoomsete laevade kasutamine linnaveeteedel võib vähendada eriti suure maanteeliiklusega linnade süsinikujalajälge. (Phelps, 2022) Autonoomseid laevu võib kasutada linnaekskursioonide läbi viimiseks, takso- või kindla marsruutiga parvlaevateenusena. See vähendaks ka linnade maanteetranspordi koormust ja suurendaks keskkonnasõbraliku veetranspordi kasutamist.

2. **Autonoomseid pealveelaevu saab kasutada seirelaevadena.** Autonoomsete pealveelaevade ja platvormide ekspluateerimine sobib rannikualade seireks, keskkonnaohtude, näiteks naftalekete või vetikate õitsemise avastamiseks ja neile reageerimiseks. MASS-tehnoloogia võimaldab jätkata naftareostuse kõrvaldamiseks operatsioone olukordades, kus laevameeskond võib olla ohus mürgiste aurude või muude ohutusriskide tõttu.

Autori arvates, väikeste mõõtmetega autonoomseid laevu saab kasutada raskesti ligipääsetavates kohtades, kus mehitatud laeva kasutamine on keeruline. Autori arvates saab selliseid laevu kasutada teatud piirkondades vajalike uuringute läbiviimiseks (näiteks veeproovide võtmiseks). Automatiseerimistehnoloogiat saab rakendada otsingu- ja päästelaevadel ning uurimislavadel (Merkel, 2019), et parandada otsinguoperatsioonide tõhusust ja reageerimisaega.

3. **Tehnoloogiate areng ja tehnoloogilised saavutused, näiteks masinõpe ja tehisintellekt, võivad parandada autonoomsete laevade tõhusust ja ohutust.** Autonoomsed laevad tuginevad navigeerimisel ja otsuste tegemisel mitmesugustele arenenud tehnoloogiatele, nagu masinõpe, arvutinägemine ja robotika. Nende tehnoloogiate täiustudes võivad autonoomsed laevad muutuda tõhusamaks, turvalisemaks ja usaldusväärsemaks. Näiteks võivad masinõppe algoritmid määrata situatsioonide reeglipärasusi ja teha prognoose laeva käitumise kohta, vähendades vajadust inimese sekkumise järele. Lisaks sellele võivad sensoritehnoloogia saavutused parandada olukorrateadlikkust, mis võimaldab laevadel tuvastada ja vältida võimalikke ohte.

Vastavalt Rahvusvahelisele laevakokkupõrgete vältimise eeskirjale, B osa, I jagu, reegel 5: "Iga laev peab igal ajal hoidma nägemise ja kuulmise abil ning kõigi olemasolevate vahendite abil, mis on sobivad valitsevate asjaolude ja tingimuste puhul, nõuetekohast väljavaadet, et hinnata olukorda ja kokkupõrkeohtu täielikult". (COLREG (b), 1972) See reegel kehtib mehitatud laevade suhtes. Laeva navigeerimise ja selle liikumise juhtimine

põhineb navigatsioonianurite kasutamisel, kuid inimene peab teostama hoolikat ja pidevat veetee jälgimist.

Väsimus, hajameelsus on kõige levinum merekokkupõrgete põhjus, mis võib hõlmata meeskonnaliikmete vigu või hooletust või segadust navigatsioonikaartide osas. (SSH, 2016) Tuvastussüsteem, mis kasutab tehisintellekti objektide, laeva liikumise ja muude võimalike takistuste tuvastamiseks, jälgimiseks, klassifitseerimiseks ja geolokatsiooniks, võib suurendada olukorradeadlikkust ja laeva ohutust. (Sea Machines, 2022)

2.1.4 MASS ohud

1. **Autonoomsete laevade tehnilise hooldusega seotud probleemid.** Autonoomsele laevandusele üleminek nõuab uusi oskusi ja teadmisi autonoomsete laevade kasutamiseks. Meremehed peavad õppima uut tehnoloogiat ning saama koolitust uute tööprotseduuride osas. Autor arvab, et autonoomsete laevade eksploatatsiooni keerukus seisneb ka tehnilises hoolduses. Kuna pardal on vähem meeskonnaliikmeid või neid üldse ei ole, võivad hooldus- ja remondiprobleemid nõuda kaughooldussüsteemide kasutamist või erioskustega maismaameeskondade kasutamist.

Tehniliste probleemide või pardasüsteemide rikete korral, kui laevas ei ole inimesi, peab laev olema varustatud spetsiaalse tarkvaraga, et diagnoosida võimalikke probleeme. Diagnoosimisel võib aga ilmnedä tõsine probleem, mida ei ole võimalik lahendada ilma inimese otsese sekkumiseta. Tehniliste spetsialistide saabumine ja laeva remont võib võtta märkimisväärselt palju aega, mis omakorda võib põhjustada rahalist kahju laeva hilinemise ja selle graafikust kõrvalekaldumise tõttu.

2. **Ohutusküsimused ja autonoomsete laevadega seotud õnnetuste võimalus võivad takistada nende kasutuselevõttu.** Üks suurimaid autonoomsete laevadega seotud probleeme on ohutus. Kuigi autonoomsed laevad võivad vähendada inimlikest vigadest põhjustatud õnnetuste arvu, võib autonoomsete laevadega seotud õnnetusi siiski juhtuda, eriti eksploatatsiooni varajases etapis. Sellised õnnetused võivad põhjustada avalikkuse negatiivset suhtumist ja aeglustada autonoomsete laevade kasutuselevõttu.

Muude võimalike riskide hulka võivad kuuluda keskkonnakahjud, mis tekivad, kui autonoomsed laevad tegutsevad ilma otsese inimpoolse kontrollita. Kui tekib avastamata leke, mis võimaldab saasteainete sattumist vette, võib see põhjustada tõsist kahju mereelustikule

enne, kui keegi probleemi märkab. (SSH, 2019) Vastavalt uuringu tulemusele, milles käsitletakse mehitamata laevade mõju meresõiduohutusele, autonoomsetel laevadel tulekahju-, plahvatus- ja üleujutusohu riskid on suuremad kui mehitatud laevadel. (Wróbel et al., 2017)

- 3. Autonoomsete laevade kasutuselevõtmist võib takistada selge õigusliku ja regulatiivse raamistiku puudumine.** Autonoomsete laevade kasutuselevõtt võib nõuda olemasolevate konventsioonide muutmist, mis toob kaasa ebakindluse selles valdkonnas eelkõige õiguslikust seisukohast. See ebakindlus hoiab laevanduse valdkonna osalejaid uue tehnoloogia kasutuselevõtmisest eemale, hoolimata autonoomsete laevade võimalikest eelistest.

Praegu puudub autonoomsete laevade jaoks selge reguleeriv raamistik, mis võib takistada nende arendamist ja kasutuselevõttu. Autonoomsete laevade ja merekeskkonna ohutuse tagamiseks on vaja eeskirju. Praegusel ajal toimub õiguslikke normide väljatöötamine ja on olemas nende avaldamise esialgsed tähtajad. Siiski võib juhtuda, et õigusaktide väljatöötamist takistab mingi asjaolu või et reguleeriva raamistiku jõustamine ja rakendamine on pikaajaline protsess ja võtab palju aega. Lisaks sellele tuleb lahendada autonoomsete laevadega seotud õnnetuste puhul õigusliku vastutuse küsimusi ning selgitada eri asjahuviliste poolte rollid ja kohustised.

2.2 Tehisintellekti mõju laevandussüsteemile

Tehisintellekt (*AI*) muudab laevandusvaldkonda, võimaldab luua autonoomsemaid ja tõhusamaid laevu. Tehisintellektil põhinevad autonoomsed laevad võivad automatiseerimise abil tõhustada toiminguid ja vähendada kulusid. Tehisintellekti mõju autonoomsetele laevandusoperatsioonidele on veel uurimis- ja arendusetapis ning eeldatavasti muudab see tehnoloogia lähiaastatel laevandussektorit. *AI* abil saab autonoomne laevandus rahuldada valdkonna kasvavaid vajadusi, täita keskkonna- ja ohutusnõudeid ning parandada finantstõhusust. Selles peatükis uuritakse tehisintellekti mõju laevandusele, suhtesest autonoomsete laevade ja tehisintellekti vahel ning tehisintellekti rakendamist laevanduses.

Eelmistes peatükkides olid esitatud põhjalik ülevaade autonoomsetest laevadest, ning selle materjali paremaks mõistmiseks antud töö autori poolt oli tehtud otsus alustada käesoleva peatükki mõiste „Tehisintellekt“ ja selle olemuse määratlemist. Praegu ei ole ühtegi üldtunnustatud määratlust tehisintellekti kirjeldamiseks. Järgnevalt on esitatud „Tehisintellekti“ definitsioon, mis põhineb mitmetel allikatel. „Tehisintellekt“ on inimintellekti protsesside modelleerimine masinate,

arvutisüsteemide poolt probleemide lahendamise ja otsuste tegemise eesmärgiga (IBM, AI) (Burns, AI). Autonoomsete laevade valdkonnas kasutatakse mitut liiki tehisintellekti:

- 1. Masinõpe (*Machine Learning*).** Masinõpe on tehisintellekti ja arvutiteaduse valdkond, mis võimaldab süsteemidel ennast täiustada, kasutades andmeid iseõppimiseks. (IBM (a)) Autonoomsetes laevades saab masinõpet kasutada nägemissüsteemides ja andurites, et parandada täpsust ja tuvastada võimalikke takistusi.
- 2. Süvaõpe (*Deep Learning*).** Sügavõpe on masinõppe alaliik, mis kasutab inimaju töö jäljendamiseks närvivõrke. (IBM (b)) (Reyes, 2023) Sügava õppimise abil saab autonoomseid laevu õpetada objekte ära tundma ja keerulises keskkonnas navigeerima.
- 3. Loomuliku keele töötlemine (*Natural Language Processing*).** *NLP* on tehisintellekti liik, mis kasutab teksti- või kõneandmete analüüsimiseks masinõpet. (IBM (c)) (SAS (a)) Autonoomsetes laevades saab *NLP-d* kasutada meeskonnaliikmetega suhtlemiseks ja olulise informatsiooni edastamiseks reaajas.
- 4. Arvutinägemine (*Computer Vision*).** Arvutinägemine on tehisintellekti liik, mis võimaldab arvutitel tuvastada ja tõlgendada autonoomsete laevade pardal olevate kaamerate ja sensorite visuaalseid andmeid ning anda saadud teabe põhjal soovitusi. (IBM (d)) (SAS (b)) Arvutinägemist saab kasutada teiste laevade tuvastamiseks, ilmastikutingimuste jälgimiseks ja veeteedel navigeerimiseks.
- 5. Kinnitusega õppimine (*Reinforcement Learning*).** Kinnitusega õppimine on masinõppe liik, mis kasutab algoritme, et õppida tegema otsuseid eelmiste tegevuste tulemuste põhjal. Pärast iga tegevust saab algoritm tagasisidet, mis aitab tal kindlaks teha, kas tehtud valikud olid õiged, neutraalsed või valed. (Verma, Diamantidis, 2021) Kinnitusega õppimist saab kasutada marsruutide optimeerimiseks, kokkupõrgete vältimiseks ja autonoomsete tarneoperatsioonide üldise tõhususe parandamiseks.

Tehisintellekti süsteemid on veel uurimisfaasis ning nõuab selliste süsteemide väljatöötamine palju pingutusi ja aega. Tehisintellekti algoritmide kasutamine toob autonoomsetele laevadele suurt kasu mitmel viisil:

- 1. Navigatsioon ja täiustatud marsruutide planeerimine.** Tehisintellekt võib toetada autonoomset navigeerimist (César-Tondreau et al., 2021), pakkudes reaajas andmeid ilmastiku, mereseisundi ja võimalike takistuste kohta, võimaldades laevadel ohutult

tegutseda rasketes ja ebasoodsates ilmastikutingimustes või olukordades, kus navigeerimine võib olla keeruline, näiteks ülekoormatud sadamates. Masinõppe algoritmid suudavad prognoosida ja optimeerida laevateid ning vähendada kütusekulu, parandades keskkonnasäästlikkust. Lisaks saab tehisintellekt analüüsida mitme laeva andmeid ja teha ettepanekuid parimate tarneteede kohta, et tagada tõhusad tarneteed. Marsruudi optimeerimise tulemusel väheneb kütusekulu ja laeva süsinikujalajälg, mis aitab kaasa keskkonnasõbralikkuse saavutamisele.

2. **Veoste seire.** Tehisintellektil (Bellintegrator, AI in Transportation) ja *IoT* põhinevad seadmed võimaldavad lasti kontrollimist laevanduse ajal. Reaalajas andmed ja prognoositav analüüs annavad täpseid hinnanguid saabumisaegade kohta ja vähendavad lasti kahjustumise või kadumise tõenäosust.
3. **Tehniline hooldus ja hädaolukordadele reageerimine.** Tehisintellekt võib jälgida olulisi pardasüsteeme, nagu mootorid, rooliseadmed ja navigatsioonikomponendid, et tuvastada kõrvalekaldeid või probleeme. Kasutades laeva tehnilise seisundi pidevat jälgimist tehisintellekti abil, saab laeval perioodiliselt teostada ennetavat hooldust, mis aitab vähendada laeva rikete ja seisakute riski. Tehisintellekti saab kasutada ka hädaolukordadele automaatse reageerimise eesmärgil.

2.2.1 Tehisintellekti kasutamisega seotud riskid

Tehisintellekti kasutamisega kaasnevad riskid takistavad *AI* ulatuslikku kasutulevõttu merendussektoris. Käesolevas peatükis kirjeldatakse mõningaid peamisi riske, mis on seotud tehisintellekti kasutamisega autonoomsetes laevades.

1. **Küberturberiskid.** Üks olulisemaid riske, mis kaasneb tehisintellekti kasutamisega autonoomses laevanduses, on küberturvalisus. Autonoomsete laevade töö sõltub keerukast tarkvarast ja kommunikatsioonist ning häired või tõrked selles töös võivad kaasa tuua tõsiseid tagajärgi. (Tusher et al., 2022) Küberrünnakud võivad tulla erinevatest allikatest, sealhulgas häkkerid, teised riigid või isikud, kellel on juurdepääs salastatud teabele. Need rünnakud võivad ulatuda konfidentsiaalsete andmete vargusest kuni pardasüsteemide häirete või väljalülitamiseni. Autonoomse laeva vastu suunatud küberrünnaku tagajärjed võivad kaasa tuua inimohvraid, keskkonnakahju ja rahalist kahju.
2. **Õiguslikud ja vastutusriskid.** Laevanduses vastutus õnnetuste või vahejuhtumite eest reguleeritakse rahvusvaheliste konventsioonide abil ning omanike, operaatorite ja

meeskonnaliikmete vastutus on selgelt määratletud. Autonoomsete laevade puhul on vastutuse jaotamine praegu aga ebaselge, kuna selles osalevad mitmed asjahuvilised pooled, sealhulgas tootjad ja tarkvaraarendajad.

3. **Tegevusriskid.** Laevad puutuvad oma reisi ajal kokku mitmesuguste takistuste ja ohtudega, sealhulgas ebasoodsate ilmastikutingimuste ja ummikutega veeteedega. Kui neid riske ei suudeta tuvastada ja neile reageerida, võib see põhjustada kokkupõrkeid, madalikule minekut ja muid vahejuhtumeid. Selleks et vähendada tehisintellekti kasutamisega seotud riske autonoomsete laevade valdkonnas, peavad olema kindlad ohutussüsteemid ja -protokollid. Need süsteemid peaksid hõlmama varuandureid ja sidevahendeid, pardasüsteemide reaajas jälgimist ja tõhusaid hädaolukordadele reageerimise menetlusi.

2.3 Laevakapteni roll autonoomsete laevade puhul

Tehnoloogilised muutused ja automatiseerimine toovad laevanduses kaasa mitmeid muudatusi ning täiesti autonoomsete laevade ja kaugjuhitavate laevade kasutuselevõtt sunnib käsitlema kapteni rolli, kohustusi ja vastutust.

Kapteni rolli mõistmiseks laeval, tuleb alustuseks määratleda mõiste "laevakapten". Laevakapten - laeva pardal olev isik, kes juhib laeva ja kellel on õigus teha kõiki laeva navigeerimise ja juhtimisega seotud otsuseid (Law Insider, Shipmaster Definition). Rahvusvahelise Mereorganisatsiooni Meresõiduohutuse korraldamise rahvusvahelise koodeksi (*ISM CODE*) resolutsiooni A.741(18) punktis 5 on määratletud laeva kapteni kohustused ja volitused (IMO, 1993). Laeva kapten vastutab laeva, meeskonna ja lasti ohutuse eest. Kaptenil on haldusvolitused, mis hõlmavad isikliku vabaduse piiramist seoses laeva pardal toimepandud õigusrikkumisega, andmete korrektse registreerimise pidamist volitatud asutustele esitamiseks (avarii, distsipliini rikkumise, õnnetusjuhtumi, sünni korral laeva pardal). Laeva kaptenil on samuti kohustus esindada laeva omanikku. (Vojković, Milenković, 2020)

Autonoomsete laevade kasutuselevõttuga muutuvad tõenäoliselt oluliselt laevakapteni õiguslikud kohustused ja vastutus. Laeva füüsilise juhtimise ja laeva pardal viibimise asemel, on tõenäoline, et tulevikus laevakapteni kohustused hõlmavad pigem järelevalverolli, kaugjuhtimise ja süsteemide seire oskusi ning arusaamist autonoomsete laevadega seotud ohutus- ja turvaküsimustest.

IMO määratluse kohaselt kaugjuhitavateks laevadeks peetakse autonoomseid merepinnal liikuvaid laevu 2 ja 3. tasemega, mida juhitakse ja jälgitakse kaldal asuvast keskusest. 2. taseme *MASS* puhul on laev kaugjuhitav ja pardal on meremehed, kes võtavad vajaduse korral juhtimise üle. 3. taseme *MASS* puhul on laev samuti kaugjuhitav, kuid ilma meeskonnata pardal. Täiesti autonoomset laeva juhib tehisintellekt ilma inimese sekkumiseta, kusjuures laeva operatsioonisüsteem suudab ise otsuseid teha ja tegevusi määrata. (UNCTAD, *MASS*, 2022) Arvestades asjaolu, et traditsioonilises laevanduses vastutab kapten laeva, reisijate, laevapere ja lasti ohutuse ja turvalisuse eest, samuti merekeskkonna kaitsmise eest reostuse eest (*IMO*, 1978) vastavalt Meremeeste väljaõppe, diplomeerimise ja vahiteenistuse aluste rahvusvahelisele konventsioonile (*STCW Code*), ning asjaolu, et käesolev konventsioon ja muud reguleerivad konventsioonid, nagu *SOLAS*, *UNCLOS*, põhinevad kapteni laeva pardal viibimisel, siis *MASS* 3.tasemega ja täiesti autonoomsete laevade eksploatatsioonil ei saa neid kohaldada. Seega tekivad küsimused seoses laeva kapteni vastutuse ja funktsionaalsete kohustustega.

Kaugjuhitavate laevade puhul tõenäoliselt antakse laevakapteni kohustused üle operaatorile, kes saab kaugjuhtimise teel sekkuda laeva toimingutesse. Meeskonnaliikmete puudumisel laevapardal teabevahetus laeva ja eemal asuva operaatori vahel on kõige olulisem aspekt, et tagada ohutut tööd (Dittmann et al., 2021). *MASS* kaldal asuv juhtimiskeskus (*SCC*) täidab tavaliselt *MASS* seirefunktsiooni, kuid hädaolukorras täidab ka otsese kaugjuhtimise funktsiooni. Ilma kaldal asuva juhtimiskeskusest vajaks laev äärmiselt keerukat tarkvara, et tulla toime kõigi võimalike olukordadega. Kaugseirega oleks laev endiselt võimeline enamikus olukordades autonoomselt toime tulema, kuid harvadel juhtudel saaks ta üle minna kaldal asuvas juhtimiskeskuses *MASS*-operaatori kontrollile, kui tekivad hädaolukorrad, mida on raske automaatselt hallata. (European Commission, 2015) Hädaolukorras, kui *MASS* kaldal asuv juhtimiskeskus ei saa *MASS* juhtimisele sekkuda, kuna puudub side laevaga, võib *MASS* tegevusele sekkuda otse laevapere (2. taseme *MASS* puhul). Uuritakse aktiivselt, kas *MASS* operaatoril peaks olema merendusala haridus, kuid ei ole erimeelsusi küsimuses, et *MASS* kaugoperaatoril peab olema kaugseiresüsteemi kasutamiseks sobiv kvalifikatsioon ja kogemused. Põhilised tööalased pädevused on kaugjuhtimine, autonoomne navigeerimine, teadmised meretehnoloogiast, Info- ja kommunikatsioonitehnoloogiast (*IKT*), tehisintellektist, küberturvalisusest ning *MASS* operatsioonisüsteemi tundmine ja erialane haridus on suure tähtsusega aspektid (Lee et al., 2019).

Täiesti autonoomse laeva kontseptsioonis, laev juhib oma tegevust tänu tehisintellektile, seega on võimatu anda vastutust selle laeva juhtimise eest kellelegi teisele. Teisest küljest peab olema

vastutus laeva eksploatatsiooni eest (European Commission, 2015), nii et kui laeva pardal ei ole kaptenit ja meeskonda, peab keegi teine võtma vastutuse laeva eest, kas laevaomanik, seadmete (tarkvara) tootja või keegi, kes on otseselt seotud selle laeva väljatöötamisega. (Schelin, 2019)

2.4 Seos süsteemi efektiivsuse ja selle turvalisuse vahel

Eeldatakse, et autonoomsete laevade kasutuselevõtt avaldab positiivset mõju laevandussektorile, suurendades tõhusust, vähendades tegevuskulusid ja suurendades meresõiduohutust. Autonoomsed laevad ning nende hooldamiseks vajalikud süsteemid ja infrastruktuur on siiski keerulised, mistõttu mida suurem on selliste süsteemide tõhusus, seda suurem on tõenäosus, et tekivad süsteemides häiretega seotud probleemid.

Spetsiaalsed süsteemid suudavad töödelda informatsiooni kiiresti ja suures mahus ning teha otsuseid eelnevalt programmeeritud algoritmide alusel (Whiteford, 2021). 4. taseme *MASS* (täiesti autonoomsed laevad) on varustatud tehisintellektiga, mis vastutab otsuste tegemise ja täitmise eest. Tehisintellekti poolt igas etapis tehtavad otsused määratakse kindlaks eelnevalt kogutud teabe ja konkreetsete algoritmide alusel. Algoritmid omakorda on algselt programmeeritud inimeste poolt ja kui need on õigesti programmeeritud, saab vigu püüda vähendada nullini, kuid inimfaktorist tingitud vigu ei saa täielikult kõrvaldada. Mida keerulisem on süsteem, seda tõenäolisem on, et selles süsteemis tekivad vead (Chavaillaz et al., 2016).

Traditsiooniline laev on tehnilisest seisukohast varustatud süsteemide võrgustikuga ja tavaliselt ei ole seal palju küberturvalisuse kontrole, sest laeva sees on erinevaid protokolle, mis peamiselt ei ole omavahel ühendatud. Autonoomse laeva puhul on aga väga oluline, et kõik need protokollid oleksid omavahel ühendatud, sest mitmeid andmevooge uuenevad reaajas ning hästi ühendatud süsteem muudab toimingud ratsionaalsemaks ja tõhusamaks. (FreightWaves, 2019)

Võimalikud vead ja tõrked keerukates süsteemides võivad põhjustada mitmesuguseid autonoomseid laevu ähvardavaid küberohtusid, mis võivad mõjutada andmete turvalisust ja privaatsust ning muutuda süsteemi teovõimetuks. Süsteemide keerukuse tõttu teostavate riskide minimeerimiseks, peavad ettevõtted välja töötama ja rakendama kindlaid küberturvalisuse meetmeid, mis võivad nõuda täiendavaid investeeringuid. Seega võib järeldada, et probleemid keerulistes ja tõhusates süsteemides võivad viia samade süsteemide tõhususe ja turvalisuse vähenemiseni.

2.5 Mõju maailma majandusele

Laevandus on maailmamajanduse oluline osa, mis soodustab kaupade ja ressursside transporti üle kogu maailma. Laevandus võimaldab riikidele juurdepääsu turgudele ja ressurssidele. Laevandusteenuste turg mõjutab kaubavooge, riikide poolt müüdavaid tooteid, ja kuidas hindade muutused kaubanduses kajastuvad (Kalouptsidi, 2021). Kaupade vedu meritsi vähendab transpordikulusid, muutes kaubad kättesaadavamaks. Laevandus pakub tööõivevõimalusi inimestele üle maailma, sealhulgas meretranspordi, tootmise ja logistikaga seotud inimestele. Laevandus aitab kaasa maailmakaubanduse ja majanduse kasvule, eriti arengumaades, kus loodusvarad ja toorained moodustavad märkimisväärse osa ekspordist.

Traditsiooniline laevandus avaldab aga ka negatiivset mõju keskkonnale, sest fossiilkütuseid kasutavad laevad saastavad õhku ja vett ja toodavad rohkem kasvuhoonegaase. Laevandus on seotud suurte riskidega, sealhulgas piraatluse, kokkupõrgete ja õnnetustega, mis võivad põhjustada märkimisväärseid majanduslikke ja inimeste kaotusi.

Vastavalt uuringu tulemustele (Brancaccio, 2020) muutused meretingimustes olulisel määral mõjuvad maailma kaubandusele. Näitena võib tuua laevaõnnetusi, mis on seotud madalale sõiduga maailma tähtsaimates laevakanalites, nagu Panama, Gibraltari (Clinger, 2022) ja Suessi (New Zealand Embassy, 2021) kanalid, võivad need põhjustada merekauguste ja reisikulude suurenemist ning maailmakaubanduse vähenemist (Kalouptsidi, 2021).

Merendussektor vajab võimalusi majandusliku tõhususe, konkurentsivõime, ohutuse ja keskkonnasäästlikkuse parandamiseks ülemaailmsel tasandil ning autonoomsete laevade väljatöötamisega püütakse lahendada probleeme nendes valdkondades (Kurt, Aymelek, 2022). Autonoomsete laevade arendamine on suunatud laevandusvaldkonna automatiseerimisele ja parandamisele, vähendades riske ja suurendades tõhusust.

Autonoomne laevandustehnoloogia annab võimaluse laevadel navigeerida keerulistel veeteedel ja teha koostööd teiste laevadega reaajas. Laevanduse automatiseerimine võib avaldada märkimisväärset mõju maailmamajandusele. Autonoomsete laevade kasutamine võib parandada tõhusust, vähendada transpordikulusid ja tarneaega ning vähendada inimtegurist tingitud õnnetusi. See omakorda toob kaasa suurema konkurentsivõime ja ülemaailmse kaubanduse kasvu. Lähtudes peatükis 2.1 kirjeldatud autonoomse laevanduse arendamise eelistest, annab see võimaluse vähendada traditsioonilise laevanduse negatiivset mõju, parandada tõhusust ja konkurentsivõimet, suurendades seega maailmakaubandust ja maailmamajandust. Autori arvates parem ja ohutum

kaupade ja ressursside vedamine parandab tarneahela, pakkudes lõpptarbijatele suuremat tarbimist ja laiendades kaubandust, et avaldada positiivset mõju maailmamajandusele.

Igal aastal veetakse meritsi ligikaudu 11 miljardit tonni kaupa (ICS, 2019). Prognooside kohaselt kasvab autonoomsete laevade maailmaturg 6,88 miljardilt dollarilt 2022. aastal 7,34 miljardi dollarini 2023. aastal, kusjuures aastane kasvutempo (CAGR) on 6,6% (The Business Research Company, 2023). Üldpilti vaadates, autonoomsete laevade osa ülemaailmsel turul 2020.aastal moodustas 6,40 miljardit dollarit ja eeldatavasti kasvab ajavahemikul 2021 - 2028 12,07 miljardit dollarini, kusjuures CAGR on 9,13% (Fortune Business Insights, 2022).

Euroopa valitsuste ja ettevõtete kasvavad investeeringud autonoomsete laevade valdkonnas soodustavad turu kasvu peamiselt tänu suuremale Euroopa koostööle mere ökosüsteemi, kaubandusliku mereliikluse ja mereväe laevade autonoomsete võimete kasutuselevõtu projektides. (Mordor Intelligence, 2021) Aasia ja Vaikse ookeani piirkonna riigid on transpordisektori automatiseerimise osas maailmas ühed kõige arenenumad. Autonoomsete tehnoloogiate turg selles piirkonnas kiiresti laieneb uute tehnoloogiate kasutuselevõtu ja kiirendatud automatiseerimise kaudu ning autori arvates see aitab avada piirkondliku kasvu jaoks uusi võimalusi.

Allpool esitatud Joonisel 4 on piirkonnad ja nende prognoositav kasvutempo autonoomsete laevade turul värviliselt esile toodud.



Joonis 4 Autonoomsete laevade turg - Kasvutempo piirkondade kaupa (2020 - 2030)
Allikas: Mordor Intelligence, 2021

Rohelise värviga on tähistatud Euroopa piirkond ja Aasia-Vaikse ookeani piirkond, kus on suurim kasv, seejärel Põhja-Ameerika, kus prognoositakse keskmist kasvu (kollase värviga), ning

madalaim kasv ja autonoomsete laevade valdkonna areng on prognoositud *LAMEA* (Ladina-Ameerika, Lähis-Ida ja Aafrika) piirkonnas.

3 Uuringu tulemuste analüüs ja järeldused

Käesolevas peatükis käsitletakse *MASS* peamisi riske ja nõudeid ning seda, kuidas *MASS* mõjutab laevanduse ohutust ja tõhusust, ning analüüsitakse käesoleva lõputöö teises osas (uurimisosas) esitatud andmete põhjal saadud teavet.

3.1 Intervjuu ja küsimustiku tulemused

Käesolevas alapeatükis on esitatud vastused autori poolt läbiviidud intervjuust Eesti riigilaevastiku peadirektori Andres Laasmaga (edaspidi AL) autonoomsete laevade teemal ja vastused küsimustikule autonoomsete laevade kohta erinevate ettevõtete ja asutuste poolt. Autonoomsete laevade teemat käsitleva intervjuu läbiviimise eesmärk oli see, et intervjueeritav saab anda ekspertarvamuse autonoomsete laevade valdkonna kohta, mis aitab käesoleva töö autoril analüüsida autonoomsete laevade kasutuselevõtu mõju laevanduse tõhususele ja ohutusele. Autonoomsete laevade teemat käsitleva kirjaliku küsitluse läbiviimise eesmärk laevandusettevõtete, merevedudega tegelevate ettevõtete ja riigi asutuste (Transpordiamet) seas on koguda kvantitatiivseid andmeid praeguse teadlikkuse kohta autonoomsete laevade teemast, selgitada välja kõige olulisemad autonoomsete laevadega seotud riskid ettevõtete arvates.

3.1.1 Intervjuu tulemused

Intervjuu käigus on saadud vastused autori poolt koostatud neljale peamistele küsimustele autonoomsete laevade kohta. Intervjuu viidi läbi 15. mail 2023 rakenduse *Microsoft Teams* vahendusel. Allpool on esitatud intervjuust saadud andmed.

- Millised on autonoomsete laevade eelised mehitatud laevade ees?

AL arvab, et autonoomsetel laevadel on palju eeliseid. Esiteks, üks väga suur autonoomse laeva eelis on tegelikult energia kasutus. Kui laev on autonoomne ja meeskonnaruumid sellisel juhul puuduvad, siis see viib energia tarbimise vähenemisele. Autonoomne laev liigub tänu automaatikale ja inimese mitte sekkumisele aeglasemalt ja siis ka väga olulisel määral muutub tema energia tarbimine, sest kui tema pardal on inimesed ja siis laeval kui tuleb tal lükata läbi vee on suur kütusekulu. Oluliseks argumendiks on ka tööjõu kokkuhoid. Sõltuvalt laeva autonoomsuse tasemest, kui vaadelda näiteks kaugjuhitavaid laevu, siis just eriti pikematel liinidel on võimalik kasutada operaatorit, kes distantisilt juhib laeva. Ta saab tegelikult korraga opereerida mitut laeva juhul kui nad kõik parajasti ei asu näiteks keerulise manööverdamise piirkonnal. AL sõnul ohutus

on veel üks oluline argument. Kaheksakümmend protsenti laevaõnnetustest toimub inimlike eksimuse tõttu kas siis oskamatuses, või tahtmisest või hooletusest või millestki muust. Kui algoritmid võimaldavad inimese vigu vältida, siis on kõigepealt ohutuse küsimus, sest reeglina need inimlikud vead tulevad rutiinist.

- Millised on autonoomsete laevade puudused?

AL arvamusel keeruliste energiasüsteemidega on kindlasti autonoomse laeva tegemine pärsitud ja autonoomsete laevade tõhusa tegevuse tagamiseks tuleb neid varustada väga lihtsate energiasüsteemidega. Puuduseks on ka tehnilisi aspekte puudutavad küsimused, et juhtimise mõistes on tänapäeva süsteemid piisavalt tõhusad, et saavad hakkama, aga just see kohapealne energia ja jõuseadmete monitooring – see on probleem. Käesoleva töö autor on nõus, et autonoomsete laevade eelis on kindlasti ka see, et sõitmisel samas piirkonnas teiste autonoomsete laevadega keeruliste olukordade tekkimisel saavad autonoomsed laevad omavahel ühendust võtta ja otsuseid vastu võtta. Kuid juhul, kui kohtuvad kaks laeva – mehitatud ja autonoomne laev ning mingi juhtum leiab aset, siis inimene on oma otsustes loominguine ja AL arvates tänase algoritmidega autonoomsete laevade jaoks see loominguine otsuse vastu võtmine on üsna keeruline. Võttes näiteks mingit Euroopa sadamat, kus on sadu laevu üheaegselt ning otsustused ja manöövrivad tuleks sooritada üsna piisava aja varuga ja piisavalt ette nähes, siis otsuste tegemine inimese ja algoritmi poolt võib olla keeruline.

- Millised on suurimad riskid ja ohud, mis on seotud autonoomsete laevadega?

Intervjuu käigus AL poolt olid esile toodud järgmised ohud: laevade otsustusalgoritmidega seotud ohud, küsimused, mis on seotud tehnilise hoolduse ja vajaduse korral kohapeal reageerimisega. Side tagamine autonoomsete laevade tõhusaks ja ohutuks tegutsemiseks on üks suurimaid ohte. AL arvates ohuteguriks võib vaadelda ka inimeste psühholoogilist valmisolekut, sest kui inimene on laevas ta ei ole nõus sõitma laevaga, mille juht ei karda surma, kuna ei asu reisi ajal laeva pardal. Nii käesoleva autori arvates, kui ka AL väitel võimalik küberrünnakute oht on kõige suurem ohutegur. Küberrünnakute oht on oluline tegur seisukohast, et autonoomset laeva on võimalik kasutada relvana, üle võtta distantsilt või manipuleerida laeva liikumisega ja sellel tegevusel on tõsisid tagajärgi.

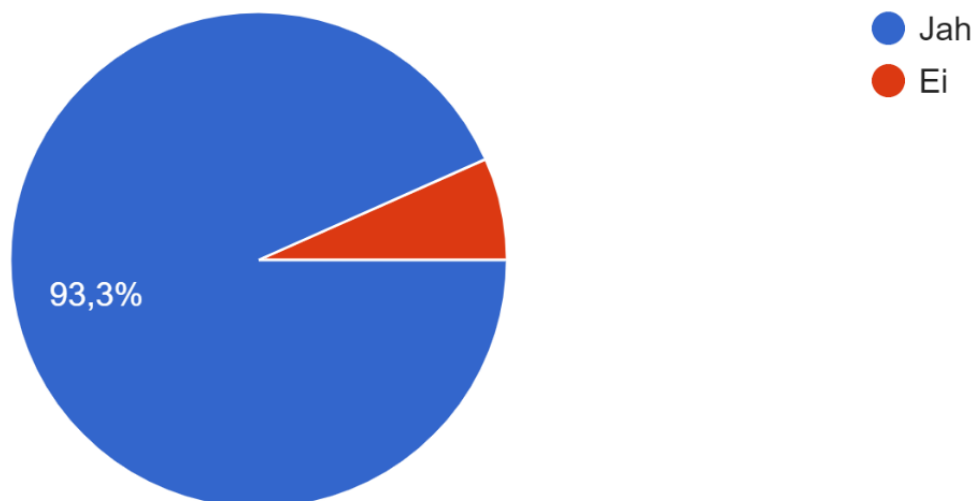
- Kas autonoomsete laevade kasutuselevõtt võib teie arvates olla otstarbekas majanduslikust seisukohast või mitte ja kui võib, siis mis tegurid tagavad selle?

AL sõnul laeva arendamise kulu peab kompenseerima selle, et mehituskulud ja energiakulud on oluliselt madalamad. Majanduslikus mõttes energia kulu ja tööjõukulu on kaks põhilist majandusargumenti.

3.1.2 Küsimustiku tulemused

Küsitluse läbiviimiseks saatis käesoleva töö autor ajavahemikul 10.-21. mai 2023 küsimustiku 24 asutusele. Küsimustik on koostatud rakenduse *Google Forms* vahendusel. Küsimustik koosneb 5 peamist küsimusest ja küsitluse käigus on saadud 15 vastust. Küsimustiku tulemused on esitatud allpool.

1. Kas on teile tuttavad mõisted „*autonoomne*“ või „*mehitamata*“ laev?

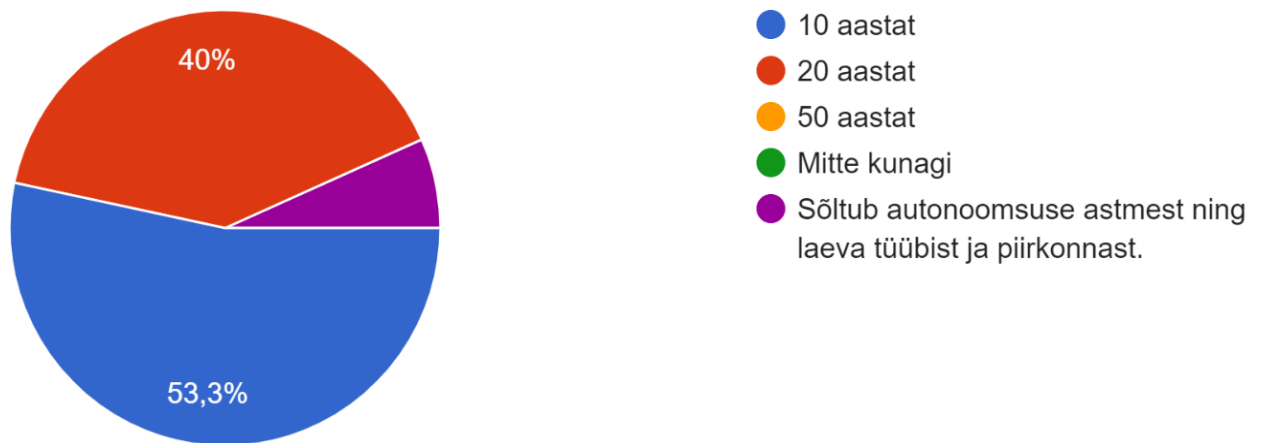


Joonis 5 Inimeste teadlikkuse osakaal

Autori koostatud

Vastavalt andmetele küsitletute seas 14 inimesele 15-st ehk 93,3% on tuttavad mõisted "autonoomne" või "mehitamata" laev ning 1 inimene ehk 6,7% kõigist vastanutest ei ole nende mõistetega tuttav. Saadud andmete põhjal võib järeldada, et enamikule erinevate ettevõtete esindajatele on tuttavad autonoomse või mehitamata laeva mõisted, mis näitab, et vastajate teadlikkus on üsna kõrge ja teema on aktuaalne.

2. Kuidas te arvate, mitme aasta pärast autonoomsed laevad võetakse kasutusele kaubaveol rahvusvahelisel tasandil?



Joonis 6 Autonoomsete laevade kasutuselevõtu ajavahemik

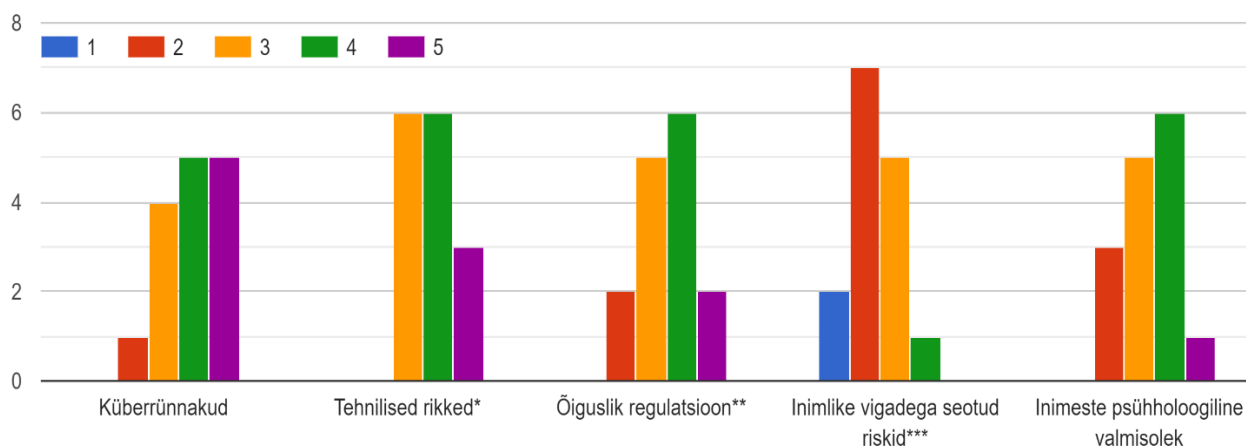
Autori koostatud

Vastavalt selle küsimuse vastustele 6 vastajat ehk 40% kogu valemist arvab, et autonoomsed laevad võetakse kasutusele kaubaliinidel 20 aastat pärast. 8 vastajate arvamusel, mis moodustab 53,3% kogu vastanute arvust, autonoomsete laevade kasutuselevõtt kaubaveol toimub 10 aastat pärast. Ülejäänud 6,7% kogu arvust ehk 1 inimene arvab, et autonoomsete laevade kasutuselevõtt rahvusvahelisel tasandil sõltub autonoomsuse astmest ning laeva tüübist ja piirkonnast.

Andmete põhjal järeldab autor, et enamik vastanutest eeldab autonoomsete laevade kasutuselevõttu kaubaveol rahvusvahelisel tasemel järgmise 10-20 aasta jooksul, mis on üsna lühike ajavahemik. Ükski vastanutest ei märkinud varianti „50 aastat“, mille alusel võib teha järeldust, et vastajad näevad autonoomsete merepinnal liikuvate laevade järkjärgulist kasutuselevõttu rahvusvahelisel tasemel lähitulevikus. Käesoleva töö autor nõustub seisukohaga, et autonoomsete laevade kasutuselevõtt rahvusvahelisel tasandil sõltub laevade autonoomsuse astmest ja nende kasutuspiirkonnast, ning märgib, et autonoomse tehnoloogia kiire areng ja rõhuasetus MASS tegevuse reguleeriva raamistiku väljatöötamisele võivad viia MASS kasutuselevõtmiseni kaubaliinidel lähima 10 aasta jooksul.

3. Autonoomsete laevadega seotud riskide hindamine skaalal 1 kuni 5.

Vastajate ülesandeks oli hinnata skaalal 1 kuni 5 autonoomsete laevadega seotud riske, mis nende arvates mõjutavad merendussektorit kõige rohkem, kus „1“ tähendab „ei mõjuta üldse“ ja „5“ – „mõjutab olulisel määral“. Joonisel 7 on esitatud tulpldiagramm, mis näitab vastajate arvamuste jaotust.



Joonis 7 Riskide hinnang
 Autori koostatud

Saadud andmete põhjal sai autor järgmised tulemused:

- Esikohale tulevad küberrünnakutega seotud riskid. Vastajate seas 5 inimest panid „5“, mis tähendab et nende arvamusel autonoomsete laevadega seotud küberrünnakud olulisel määral mõjutavad merendussektorit. 4 inimest panid „4“, mis tähendab, et nad ka arvavad, et küberrünnakud mõjutavad piisaval määral laevandust. 4 vastajat hindasid küberriske neutraalselt (diagrammil selline hinnang on tähistatud kollase värviga). Üks vastaja pani „2“, mis omakorda tähendab, et küberrünnakud avaldavad mõju, kuid mitte olulisel määral. Autori arvates võib autonoomsete laevadega seotud kübertegevus tõepoolest olla suurim oht laevandusele, sest laeva vastu suunatud küberrünnaku korral võib selle tagajärjeks olla rahaline, keskkonna- ja isegi füüsiline kahju.
- Analüüsitud andmete kohaselt teisele kohale tulevad tehnilised riskid (siia kuuluvad ulatuslikud satelliitide rikked, arvutisüsteemide ja seadmete rikked). Kolm vastajat hindavad autonoomsete laevadega seotud tehnilisi riske kõige kõrge hindegaga „5“. Kuus vastajat hindasid tehnilisi riske 5-palli skaalal hindegaga „4“, mis tähendab samuti, et vastajad annavad selle riski tüübile suurt tähtsust. Ülejäänud 6 vastajat hindasid seda liiki riski skaalal 1 kuni 5 hindegaga „3“ ehk neutraalselt, kuid see omakorda ei tähenda, et see risk ei avalda mõju merendussektorile. Autori arvates on selle riski hindamine oluline, sest autonoomse laeva toimimine sõltub suurel määral selle tehnilisest seisundist ning laeva sidest tugikeskuse teiste laevadega.
- Kolmandal kohal on autonoomsete laevade õigusliku regulatsiooniga seotud riskid (siia kuuluvad vastutuse jaotamine, rahvusvaheliste konventsioonide järgimine; juriidiliste

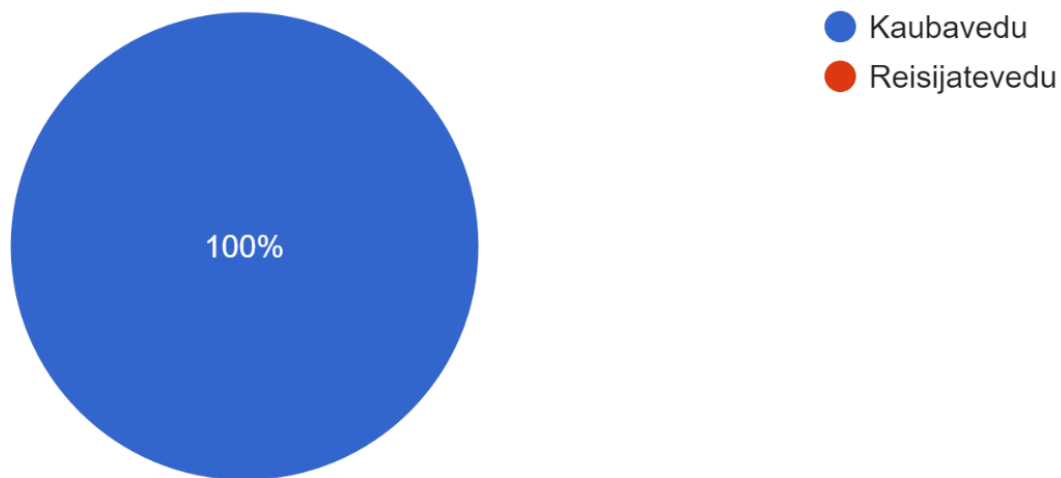
küsimuste lahendamise). 2 vastajate hinnangul käesolev risk mõjutab olulisel määral merendussektorit, mis vastab hindele „5“ ning 6 vastajat hindab seda riski 5-palli skaalal hindega 4 (mõjutab piisaval määral). 5 vastajat hindab õigusliku regulatsiooniga seotud riske neutraalselt ja 2 vastajat arvab, et antud risk avaldab mõju, kuid mitte olulisel määral. Autor peab autonoomsete laevade õigusliku regulatsiooniga seotud riske oluliseks, sest õiguslikust regulatsioonist sõltub autonoomsete laevade tegevus rahvusvahelisel tasandil.

- Tulemuste kohaselt on neljandal kohal riskid, mis on seotud inimeste psühholoogilise valmisolekuga. 5- palli skaalal üks vastaja hindab antud riski hindega „5“ (mõjutab olulisel määral), 6 vastajate arvamusel antud risk mõjutab merendussektorit piisaval määral (ehk „4“), 5 vastajat on neutraalsel arvamusel ja 3 vastajat toetab arvamust, et inimeste psühholoogilise valmisolekuga seotud riskid mõjutavad merendussektorit mitte olulisel määral.

Autor oletab, et vastuseid andes võisid vastajad hinnata reisijate, laevaomanike ja laevapereliikmete psühholoogilist valmisolekut. Reisijate puhul on psühholoogiline valmisolek oluline tegur, sest inimesed ei pruugi nõustuda liikuma ilma meeskonnata automaatsete süsteemidega opereeritaval laeval. Laevapereliikmete psühholoogilise valmisoleku puhul võib oluliseks teguriks olla stress, mis on seotud mittevalmidusega läbida ümberõpe ja omandada uusi oskusi näiteks laevade kaugjuhtimises. Laevaomanike psühholoogilise valmisoleku puhul on oluline tegur laevaomanike võimalik mittevalmidus kohaneda laevandussektori ja ärimudelite muutustega.

- Vastavalt vastajate andmetele viimasel kohal on inimlike vigadega seotud riskid (siia kuuluvad süsteemide ja algoritmide programmeerimisel inimestega, liikluses osalevatel mehitatud laevadel olevate inimeste põhjustatud riskid). Küsitlusele vastanutest vaid üks inimene arvab, et antud risk mõjutab merendussektorit piisaval määral (ehk „4“). 5 vastajat toetab neutraalset arvamust. 7 vastajat arvab, et inimlike vigadega seotud riskid mõjutavad merendussektorit mitte olulisel määral ja 2 vastajat hindab 5-pallisel skaalal hindega 1, mis tähendab, et risk ei mõjuta merendussektorit üldse. Autor arvab, et selline vastuste jaotus on tingitud eeldusest, et autonoomsetele laevadele paigaldatud automatiseeritud süsteemid võivad vähendada inimliku eksimuse riski.

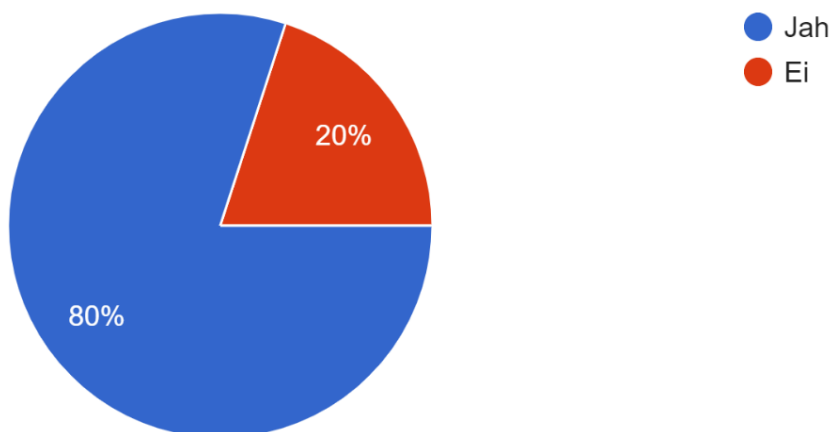
4. Kas teie arvates on autonoomsed laevad tulevikus rohkem nõutud kauba- või reisijateveoks?



Joonis 8 Kaubavedu ja reisijatevedu
Autori koostatud

Tulemuste põhjal 15 vastajate (ehk 100%) arvamusel on autonoomsete merepinnal liikuvate laevade kasutuselevõtt tulevikus rohkem nõutud kaubaveoks kui reisijateveoks. Autori arvates võib selline vastuste jaotus olla tingitud psühholoogilisest tegurist, sest reisijatel on raskem tunda end mugavalt laeval, mille pardal ei ole meeskonda. Autor toob näite ka Andres Laasma magistritööst, milles ta uurib autonoomsete laevade potentsiaali reisijateveoks. Laeva reisijate jaoks on oluline ka traditsiooniline klienditeenindus ning võimalus näha ja suhelda laevapere liikmetega (Laasma, 2020), mis ei ole täiesti autonoomsel laeval võimalik.

5. Kas inimteguri vähendamine laevajuhtimises ja mõnede ülesannete delegeerimine automatiseeritud süsteemidele võib parandada meresõiduohutust?



Joonis 9 Seos meresõiduohutuse ja inimteguri vahel
Autori koostatud

Vastavalt diagrammi tulemustele on 12 vastajat ehk 80% kõigist vastanutest nõus, et inimteguri vähendamine laevajuhtimises võib avaldada positiivset mõju meresõiduohutusele. 3 vastajat (ehk 20%) vastas sellele küsimusele eitavalt. Saadud vastuste põhjal võib autor järeldada, et enamik vastanutest nõustub, et mõne ülesande delegeerimine automatiseeritud süsteemidele võib vähendada meeskonna töökoormust ja võimaldada neil keskenduda tähtsamatele ülesannetele. Üldiselt võib inimteguri vähendamine laeva juhtimises ja mõnede ülesannete delegeerimine automatiseeritud süsteemidele suurendada ohutust ja tõhusust, vähendades õnnetuste ja vahejuhtumite ohtu.

3.2 Autonoomsete laevade peamised riskid ja nõuded

Käesolevas lõputöös on antud ülevaade autonoomsete laevade valdkonnast ja selle rollist sotsiaalsest, majanduslikust ja õiguslikust aspektist. Antud peatükis toob autor välja tema arvates kõige olulisemad riskitegurid autonoomsete laevade arengus ning kõige olulisemad nõuded sellele valdkonnale. Käesoleva lõputöö uurimisosas on esitatud autonoomsete laevade olemasolevate riskide ja nõrkade külgede põhjalik analüüs, selles peatükis on määratletud 4 riskitegurit ja 4 nõuet, mis põhinevad käesoleva töö uurimisosas (SWOT-analüüs), intervjuu ja küsitluse põhjal esitatud tabel. Riskide ja nõuetega tuleb arvestada, et tagada ohutu, turvaline ja tõhus laevandustegevus. Autor toob välja küberturvalisuse, seadmete probleemid, inimeste eksimused, õiguslikud ja regulatiivsed küsimused kui kõige olulisemad autonoomse laevandusega seotud riskid, ning annab ülevaate vajalikest nõuetest, mis puudutavad *MASS* tehnilist, sotsiaalset, õiguslikku ja küberturvalisuse aspekti.

1. Autonoomsed laevad on keerulised süsteemid ja sõltuvad suurel määral tehnilistest seadmetest nagu andurid, navigatsioonisüsteemid ja sideseadmed. Töö autori arvamuse järgi, mis põhineb peatükis 2.1 esitatud SWOT-analüüsil ja autonoomsest laevandusest uuritud artiklite põhjal suure tähtsuse omavad probleemid ja riskid, mis on seotud tehniliste seadmete riketega. Rikked seadmetes võivad põhjustada tõsiseid õnnetusi, keskkonna reostust, lasti kahjustamist või isegi inimohvreid. Probleemid süsteemidega kujutavad endast märkimisväärset ohtu autonoomsele laevandusele ja ettevõtted peavad võtma meetmeid selle vältimiseks.

Regulaarse hoolduse ja kontrollide läbiviimine on oluline nõue, et tagada seadmete nõuetekohane toimimine, et vältida võimalikke rikkeid. Alapeatükis 2.2 on märgitud, et tehisintellektil põhinevate süsteemide kasutamine võib aidata laeva jälgimisel (OSS, 2023),

seega autor arvab, et võiks seda kasutada ka laeva seisundi ja parda süsteemide jälgimiseks. Süsteemid peavad andma laeva juhtimiskeskusele täpset teavet reaalajas, et tagada kiire reageerimine olukordadele.

2. Riskid, mis on seotud õiguslike ja regulatiivsete küsimustega. Rahvusvahelisel tasandil tegutsemiseks peavad autonoomsed laevad vastama rahvusvahelistele merenduslastele regulatsioonidele. Alapeatükkides 1.4 ja 2.2 on toodud välja, et praegu puudub ühtne õiguslik raamistik, mis reguleeriks rahvusvahelisel tasandil *MASS* tegevust. Autonoomsed laevad peavad vastama eeskirjadele, mis on seotud navigatsiooni-, side- ja ohutusseadmetega, ning õiguslikust vaatepunktist peab olema selgus kohustuste ja vastutuse jaotuse osas. Käesoleva töö autori arvates õiguslike reeglite olemasolu on oluline eelkõige õnnetuste ja avariide puhul, sest need võivad kaasa tuua tõsiseid tagajärgi, mis olid mainitud selle peatüki esimeses punktis, ning rahalist kahju.

MASS eksploatatsiooni kasutuselevõtuks tuleb välja töötada õiguslik raamistik, mis reguleeriks autonoomsete merepinnal liikuvate laevade tegevust. Reguleerimine peab olema paindlik, et võtta arvesse selle alaga seotud riske, et toetada innovatsiooni ohutuse, äritegevuse ja keskkonnakaitsmise valdkonnas.

3. Inimlikest vigadest tulenevad riskid. Autonoomsete laevade projekteerimise üheks eesmärgiks on vähendada inimlike vigade mõju keeruliste algoritmide ja tehisintellekti kasutamise abil. Keerulisi algoritme ja süsteeme programmeerib siiski inimene ning kaugjuhitavate laevade puhul antakse operaatorile võimalus sekkuda laeva juhtimisse ettenägematute asjaolude korral. Seega on inimese sekkumise korral otsene vigade oht, samas kui mittesekkumise korral on oht, et eelnevalt programmeeritud süsteemis ja tehnilistes seadmetes võib olla ebatäpsusi, mis avastatakse eksploatatsiooni käigus. Tasemete 2 ja 3 *MASS* kasutamisel on vajalik kaugseire operaatori/-te poolt. Kui operaatoril/ meeskonnal puudub piisav kogemus keeruliste algoritmide ja süsteemidega tegelemiseks või kui nad ei suuda süsteemi jälgida (näiteks kui puudub side laevaga), võib sellel olla katastroofilisi tagajärgi (avariid, rahaline kahju, inimohvrid).

Autor arvab, et keeruliste süsteemide ja algoritmidega töötamisega seotud riskide vähendamiseks tuleb kehtestada laevade programmeerimise ja järelevalve eest vastutavate töötajate nõuetekohane ettevalmistamine ja sertifitseerimine ning kehtestada ranged protokollid ja menetlused laevade eksploatatsiooniks. Need nõuded peaksid põhinema

MASS seotud tegevust reguleerival õiguslikul raamistikul, mis tuleb välja töötada, nagu oli mainitud käesoleva peatüki teises punktis. Süsteemide vigadega seotud riskide vähendamiseks tuleb rakendada regulaarse hoolduse ja kontrollide läbiviimise meetmeid, et tuvastada võimalikke vigu programmeeritud süsteemides või rikke laeva funktsioneerimise ajal nagu see oli eespool kirjutatud lõigus mainitud. Autori arvates võivad need meetodid vähendada ebasoodsate olukordade tekkimise tõenäosust, kuid ei suuda täielikult vältida nende olukordade tekkimise tõenäosust inimlike eksimuste või inimestega programmeeritud süsteemides vigade tõttu.

4. Küberturvalisusega seotud riskid. Käesoleva töö autori väitel üks olulisemaid autonoomsete laevade valdkonnaga seotud riske on küberrünnakute oht. Kuna *MASS* sõltuvad üha enam tehnoloogiast ja andmetest, muutuvad nad keerukateks süsteemideks ning saavad küberrünnakute suhtes haavatavamaks. Meresõiduturvalisusega seotud küberrünnakud võivad põhjustada õnnetusi (näiteks kokkupõrked, madalale sõit), mis on tingitud vigastest laeva pardasüsteemidest ja navigatsioonivigadest. Küberrünnak, millega kaasneb andmete kadumine, võib põhjustada ettevõtetele rahalist kahju. Süsteemide kaitsmine nõuab hästi kavandatud meetmeid, mis võivad põhjustada lisakulusid.

Autori arvates küberturvalisuse puhul on *MASS* turvalise toimimise nõudeks küberturvalisuse protokollide rakendamine. Kaitsmiseks tuleb rakendada selliseid meetmeid nagu krüpteerimise (autentimise ja andmeedastusel konfidentsiaalsuse tagamiseks) ja infotehnoloogia (IT)-turbeabinõude rakendamine, et kaitsta laeva süsteeme volitamata juurdepääsu eest. Autor arvab, et *MASS-il* peab olema piisavalt erinevatel tehnoloogiatel põhinevaid andureid, et võrrelda nendelt anduritelt saadud erinevaid andmeid ja teha otsuseid kogu olemasoleva teabe põhjal.

Mitme erineva tehnoloogiaga sidekanali olemasolu suurendab ka vastupanu volitamata tegevustele. Operatiivse tehnoloogia (*OT*) süsteemide kaitsmiseks tuleb rakendada selliseid turvameetmeid nagu tugevate paroolide kasutamine, võrkude kontroll, ning kõigi komponentide töökorras hoidmine, *OT*-võrgu eraldamine *IT*-võrgust. *IT*-süsteemide kaitsmiseks tuleb kehtestada turvalisuse tugevdamise meetmeid nagu *OT*-süsteemide puhul. Tehisintellekti rünnakute eest kaitsmiseks peavad olema turvatud kõik liidesed, sealhulgas side kaldal asuva juhtimiskeskusega ja tehisintellektioperatsioonideks kasutatavad arvutiressursid.

3.3 Autonoomsete laevade mõju laevanduse efektiivsusele ja ohutusele

MASS olulisel määral mõjub merendussektori tõhususele ja ohutusele. Käesolevas peatükis on käsitletud nii positiivne kui ka negatiivne mõju meretranspordi tõhususele ja ohutusele *MASS* poolt ning antakse vastus küsimusele, kas autonoomsete merepinnal liikuvate laevade kasutuselevõtt muudab laevanduse efektiivsemaks ja ohutumaks.

1. ***MASS* mõju laevanduse efektiivsusele.** Täiesti autonoomsete ja kaugjuhitavate laevade märkimisväärne mõju merendussektori tõhususele seisneb nende võimes parandada laevandustegevust. Vastavalt käesoleva töö teises osas esitatud informatsioonile võivad *MASS* suurendada tõhusust, vähendades sõiduaega ja parandades navigatsiooni, vähendades kulusid, optimeerides marsruute ja seega kasutatavat kütusekulu ja vähendades kasvuhoonegaaside heidet ning vähendades tavapärase laevandusega seotud riske. Autonoomsete merepinnal liikuvate laevade eksploateerimisel on võimalik vähendada meeskonnakulusid, vähendades laevapere liikmete arvu või viies selle üldse nullini, mis annab ka võimaluse laeva konstruktsiooni muuta, et suurendada selle kandevõimet.

Autor arvab, et *MASS* kasutuselevõtt võib pakkuda uusi transpordi- ja turismivõimalusi linnaveeteedel, seega *MASS* annab võimaluse linnade taristu ümberkorraldamiseks, maanteetranspordi koormuse vähendamiseks, suurendades kaubaveo efektiivsust ning edendades keskkonnasõbraliku veetranspordi kasutamist. Vastavalt alapeatükis 2.5 esitatud majandusprognooside andmetele aitab tehnoloogiate areng kaasa *MASS* turu rahvusvahelisel tasandil laienemisele aastaks 2028 aastase kasvutempoga 9,13 %. See aitab kaasa rahvusvahelise majanduse paranemisele.

MASS mõju mõistmiseks laevanduse tõhususele erinevatest vaatenurkadest tuleb käsitleda ka *MASS* negatiivset mõju laevanduse efektiivsusele. Vaatamata sellele, et autonoomsete merepinnal liikuvate laevade eksploatatsioon toob kaasa tegevuskulude vähenemise, nõuab *MASS* kasutuselevõtt, esialgsetes etappides arendamine ja vajaliku taristu loomine suuri tootmiskulusid tehnoloogiate väljatöötamise, rakendamise ja hoolduse kõrge maksumuse tõttu.

MASS vastu suunatud küberrünnakud kujutavad endast ohtu ohutusele ja turvalisusele ning võivad häirida laevade tegevust. See võib põhjustada kaubaveo efektiivsuse vähenemist ja märkimisväärset kahju kaubaomanikule. *MASS* üldtunnustatud regulatsiooni puudumine takistab *MASS* rakendamist rahvusvaheliselt. Olemasolevaid *MASS*-projekte katsetatakse

projekti algatanud ettevõtete vastutuse alusel, nii et ilma nõuetekohase reguleerimiseta võib see õnnetusjuhtumi korral põhjustada probleeme ja suurenenud kindlustuskulusid, vähenenud tõhusust ja võimalikku viivitust nõudluste lahendamisel. Autonoomsetel merepinnal liikuvatel laevadel võib ebasoodsates ilmastikutingimustes tekkida raskusi navigeerimisel. Ebasoodsad ilmastikuolud võivad raskendada andurite ja navigatsioonisüsteemide tööd ning raskendada andmete saamist välistingimuste kohta. See võib tekitada õnnetuste või süsteemihäirete riski ning viia töö efektiivsuse vähenemiseni.

MASS kasutusele üleminek nõuab laevandustöötajate ümberõpetamist ja võib tuua kaasa võimalikud vallandamised. Tuleb luua uued õpetusprogrammid ja töötingimused. Töö algfaasis võib see viia töö kvaliteedi vähenemiseni kogenud valdkonna spetsialistide puudumise tõttu. Üleminek MASS eksploatatsioonile võib mõjutada ka riikide sisemist majanduslikku olukorda, eriti riikides, mis sõltuvad otseselt merendussektorist (näiteks Jaapan), töötajate arvu vähenemine mõjutab riigile makstavaid makse.

2. **MASS mõju laevanduse ohutusele.** Laevapere liikmete, reisijate ja lasti ohutuse tagamine reisi ajal on üks olulisematest küsimustest laevanduses. Erinevad allikad (Galieriková, 2019) (Hasanspahić et al., 2021) (Allianz, 2018), mis käsitlevad mereõnnetusi ja MASS seotud arenguid, viitavad inimtegurile kui ühele mereõnnetuste peamistest põhjustest. MASS peaksid muutma laevandusvaldkonda ohutumaks, vähendades inimteguri mõju.

SWOT analüüsis on esitatud andmed, et inimteguri vähendamine võib vähendada navigatsiooniga seotud õnnetusi, nende hulgas on madalikule sõitmine ja kokkupõrked ning see toob kaasa ka laevaõnnetustest tingitud keskkonnareostuse vähenemise. Süsteemide automatiseerimine võib muuta laevanduse ohutumaks, pakkudes täiendavat tuge otsuste tegemisel ja vähendades või isegi kõrvaldades mõned ohtlikud või korduvad ülesanded.

Vastavalt alapeatükis 2.1.1 esitatud teabele oli 2022. aastal 115 piraatide rünnakut laevade vastu, autonoomsete merepinnal liikuvate laevade kasutuselevõtt võib vähendada laevade vastu suunatud piraatide rünnakute ohvrite arvu. Käesoleva lõputöö autori arvates arenenud tehnoloogiat ja tehisintellekti kasutades võib parandada olukorrateadlikkust, informatsiooni kogumist ja saamist, tagada laeva seisundi pidevat kontrollimist ning seega suurendada laeva ohutust.

MASS negatiivset mõju laevanduse ohutusele ja turvalisusele käsitledes, tuleb märkida, et *MASS* kasutuselevõtt on seotud küberturvalisuse küsimustega. *MASS* on keerulised laevasüsteemid, mis nõuavad tõhustatud turvameetmeid, mistõttu küberrünnakud neile võivad põhjustada tõsisid probleeme, sealhulgas võimalikku lastikaotust, õnnetusi, avariisid, rahalist ja andmekadu ning keskkonnareostust. Ebapiisav kaitsmine *MASS* küberturvalisuse valdkonnas võib viia laevandussektori tervikuna turvalisuse ja ohutuse vähenemiseni.

Teine aspekt, mida tuleb arvesse võtta, on see, et *MASS* kasutuselevõtt ei kõrvalda täielikult inimlike vigade võimalust, vähendades selle nullini. Kõrvaldades inimteguri laeva juhtimises, eemaldades meeskonna laevast ja andes jälgimise ja juhtimise üle kaldal asuvale juhtimiskeskusele või tehisintellektile, suure tõenäosusega tekivad vead või probleemid *MASS* tehnoloogilises valdkonnas.

MASS kasutuselevõtu varajases etapis võib juhtuda rohkem õnnetusi, mis on tingitud tehnilisest aspektist. Algoritmide ja süsteemide programmeerimise *MASS* tegevuseks teostavad inimesed, seega ei ole võimalik vältida süsteemides võimalike riketega seotud probleeme. Mida keerulisem on süsteem, seda suurem on vigade tekkimise oht. Tehnilised vead süsteemides võivad põhjustada samu tagajärgi kui küberturvalisuse probleemid, vähendades seega laevanduse ohutust ja turvalisust.

Kuni *MASS* ei ole täielikult kasutusele võetud, ei ole võimalik teha täpseid järeldusi selle kohta, kas *MASS* avaldab laevanduse tõhususele ja ohutusele üksnes positiivset või negatiivset mõju. Autonoomsete laevade valdkonnas, nagu ka traditsioonilises laevanduses, on omad probleemid, mis mõjutavad laevandust üldiselt.

Autori arvates võib automatiseerimise ja digitaaltehnoloogia nõuetekohane kasutuselevõtt muuta laevandustööstust paremaks, muutes selle ohutumaks ja tõhusamaks, kuid halva juhtimise korral on oht, et see õõnestab ohutust ja halvendab laevandussektori tööd, seega on oluline, et asjahuvilised pooled teeksid koostööd, et vähendada neid riske ja võtta kasutusele autonoomne tehnoloogia, mis toob kasu, ohustamata seejuures laevandust.

Käesoleva töö autori arvates on 2. ja 3. taseme *MASS* eksploatatsioon tõhusam ja ohutum kui 4. taseme *MASS* eksploatatsioon. See seisukoht põhineb uuritud allikatel ja asjaolul, et 2. ja 3. taseme *MASS* jälgitakse pidevalt kaldal asuvast juhtimiskeskusest ja vajadusel saab kaugjuhtimise teel või otseselt (2. taseme *MASS* puhul) sekkuda laeva töösse. Operaator jälgib kaugjuhitavat laeva kogu

aeg, samas kui autonoomne laev läheb operaatori kontrolli alla ainult siis, kui tehisintellekt hindab olukorda selliseks, mis nõuab operaatori sekkumist juhtimiskeskusest. Kaugjuhitavatel laevadel on teatud osa toimingutest automatiseeritud, kuid ülesanded jagunevad inimeste ja süsteemi vahel. Tasub meeles pidada, et ohutute reiside arv inimeste osalemisel on palju suurem kui inimtegevusest põhjustatud laevaõnnetuste arv. 4. taseme *MASS* puhul juhib laeva tehisintellekt ja see on eriti keeruline süsteem, mis teeb ise otsuseid ja reguleerib tegevust. Mida keerulisem on süsteem, seda kõrgemad peavad olema nõuded, mis on rakendatud täiesti autonoomsele laevale selle eksploatatsiooniks. Täiesti autonoomne laev eeldab kõrget tõhususe taset, kus kogu tegevus on automatiseeritud. Käesolevas töös oli mainitud varem peatükis 2.4, et mida tõhusam ja keerulisem on süsteem, seda tõenäolisem on, et süsteemis tekivad vead ja rikked.

Kokkuvõte

Laevandus muutub üha enam automatiseerituks ning viimase kümne aasta jooksul aktiivselt käsitletakse autonoomsete merepinnal liikuvate laevade arendamisstrateegiate ja kasutuselevõtu küsimusi. Suurenenud huvi *MASS* vastu on tingitud *MASS* eeldatavatest eelistest traditsioonilise laevanduse ees ohutuse, eksploatatsiooni, keskkonnamõju ja majanduslike aspektide osas.

Tänu innovaatilisele tehnoloogiale peaks *MASS* kasutuselevõtt parandama laevandussektori toimimist. Praegu on aga lahendamata küsimused, mis on seotud õigusliku regulatsiooni, vastutuse jaotamise, tehniliste aspektide, küberturvalisuse tagamise, spetsialistide õpetamise ja muude sama oluliste aspektidega.

Käesoleva lõputöö autori eesmärk oli käsitleda autonoomsete merepinnal liikuvate laevade kasutuselevõtu võimalikku mõju laevandusele. Käesoleva töö hüpoteesiks oli valitud väide, et autonoomsete merepinnal liikuvate laevade kasutuselevõtt muudab laevanduse efektiivsemaks ja ohutumaks. Töö uurimusosas on koostatud SWOT analüüs, milles kirjeldatakse üksikasjaliselt *MASS* kasutuselevõtu tugevusi ja nõrkusi ning võimalusi ja ohte. Käsitleti *MASS* efektiivsust, ohutust ja turvalisust puudutavaid küsimusi, mõju maailmamajandusele, tehisintellekti kasutamist ja selle riske. Püstitatud hüpotees leidis kinnitust osaliselt, kuna töö kirjutamise käigus olid analüüsitud ja esitatud tegurid, mis toetavad *MASS* soodsat mõju laevandusele. Kuid avalduv mõju meretranspordi tõhususele ja meresõiduohutusele selgub siis, kui autonoomsed merepinnal liikuvad laevad võetakse kasutusele rahvusvahelisel tasandil.

Autonoomsete laevade valdkonna puudutavatest allikatest saadud informatsiooni analüüsi ja kogumise tulemusena ning käesoleva töö uurimusosas esitatud teabe põhjal oli autori poolt valitud 4 peamist riski, mis olulisel määral mõjutavad laevanduse ohutust ja efektiivsust. Need riskid on: tehnilised probleemid, õiguslikud ja regulatiivsed küsimused, inimlikud eksimused ja küberturvalisuse probleemid.

Küberturvalisuse küsimused on seotud võimalike küberrünnakutega *MASS* ja kaldal asuvate juhtimiskeskuste süsteemidele. Selliste rünnakute tagajärjeks võivad olla laeva tehnilisele seisukorrale ja lastile tehtud kahju, laevaõnnetused, keskkonna reostus, inimohvrid, konfidentsiaalsete andmete kaotamine ja rahaline kahju. Seda riski saab minimeerida, kasutades erinevaid küberkaitseprotokolle, krüptograafiat, eraldades *OT*-võrgu *IT*-võrgust, kasutades erinevaid seadmeid teabe kogumiseks (näiteks mitme tüüpi andureid), kontrollides süsteeme

kõrvaliste programmide olemasolu suhtes, pöörates erilist tähelepanu tehisintellekti toiminguteks kasutatavate liideste kaitsmisele.

Tehnilised riskid on seotud süsteemide ja seadmete riketega ja nende tagajärjed on sarnased küberrünnakute tagajärgedega. Seadmete ja süsteemide tehniliste riketega seotud riskide minimeerimiseks võib kasutada tehisintellektil põhinevate süsteemide laeva ja pardasüsteemide seisundi regulaarseks kontrollimiseks, et tagada seadmete nõuetekohast toimimist.

Õiguslikke ja regulatiivseid küsimusi puudutavad riskid on seotud õigusliku raamistiku puudumisega *MASS* tegevuse reguleerimiseks rahvusvahelisel tasemel. Õiguslike reeglite olemasolu on oluline *MASS* tegevusega seotud juriidiliste küsimuste reguleerimiseks, kuna autonoomsete laevade valdkond sisaldab mitmesuguseid aspekte, mida ei saa reguleerida traditsioonilise laevanduse konventsioonidega. Selle probleemi lahendamiseks tegeleb *MASS* töörühm, mis koosneb *IMO* Meresõiduohutuse Komiteest, *IMO* Õiguskomiteest ja *IMO* Mereliikluse Hõlbustamise Komiteest. Praegu töötatakse välja mitteimperatiivse koodeksi *MASS* tegevuse reguleerimiseks, mis peaks jõustuma 2024. aastal ning selle põhjal töötatakse välja kohustusliku *MASS* koodeksi, mis jõustub 2028. aasta esimesel poolel.

Inimlike vigadega seotud riskid võivad tekkida nii otseselt inimese sekkumisest *MASS* tegevusse ettenägematute olukordade korral kui ka *MASS* funktsioneerimiseks vajalike süsteemide ja algoritmide programmeerimisest inimeste poolt. Selliste riskide minimeerimiseks tuleb kehtestada selle eest vastutavate isikute nõuetekohast ettevalmistamist ja sertifitseerimist ning teostada regulaarset süsteemide kontrolli, rakendada hoolduse meetmeid, et tuvastada võimalikke vigu varasemates etappides, enne kui need võivad põhjustada tõsiseid tagajärgi.

Autonoomsete laevade valdkonnas, nagu ka traditsioonilises laevanduses, on riske, mida tuleb arvesse võtta ja rakendada meetmeid nende vähendamiseks või võimalikuks ärahoidmiseks. Hoolimata riskidest võivad autonoomsed laevad avaldada laevandusele soodsat mõju. Käesoleva töö uurimusosal põhineva teabeanalüüsi käigus selgus, et *MASS* kasutuselevõtt suudab täiustada laevandust parandades navigatsiooni, ohutuse ja majanduse näitajaid, vähendades keskkonnareostust ja inimteguri mõju laevandusele, optimeerides kulusid ja logistikat. *MASS* eksploateerimine on laevanduse tulevik, seega on oluline keskenduda strateegiatele, mis parandavad tõhusust ja ohutust nende laevade pardal. Autonoomseid merepinnal liikuvaid laevu saab ohutult ja tõhusalt kasutada, rakendades tugevaid küberturvalisuse meetmeid, integreerides täiustatud süsteemide laeva tootlikkuse parandamiseks, optimeerides energiatõhusust ja

keskendudes meeskonna väljaõppele. Õigete investeeringutega tehnoloogiasse ja toimingutesse saab laevanduse valdkond jätkuvalt areneda, kohaneda muutuva keskkonnaga ning saada efektiivsemaks ja ohutumaks tänu *MASS* kasutuselevõtule.

Summary

The shipping industry is becoming increasingly automated, and over the last decade, the development strategies and deployment of Maritime Autonomous Surface Ships have been actively explored. The increased interest in *MASS* is driven by the expected advantages of *MASS* over traditional shipping in terms of safety, operation, environmental impact and economic aspects.

Through innovative technology, the deployment of *MASS* is expected to improve the shipping sector. However, there are currently unresolved issues related to legal regulation, sharing of responsibilities, technical aspects, cybersecurity issues, training of professionals and other equally important aspects.

The aim of the author of this thesis was to explore the potential impact of the deployment of Maritime Autonomous Surface Ships on the shipping industry. The hypothesis chosen for this thesis was that the introduction of Maritime Autonomous Surface Ships will make shipping more efficient and safer. In the research part of the thesis, a *SWOT* analysis has been carried out detailing the strengths and weaknesses, opportunities and threats of *MASS* deployment. Issues related to the efficiency, safety and security of *MASS*, the impact on the global economy, the use of *AI* and its risks are explored. The hypothesis was partially confirmed, as during the writing of the thesis, the factors supporting the positive impact of *MASS* on shipping were analysed and presented. However, the impact on the efficiency of maritime transport and on maritime safety will become clear when Maritime Autonomous Surface Ships will be introduced at international level.

As a result of the analysis and collection of information from sources related to autonomous ships, and based on the information presented in the research section of this thesis, the author had selected 4 main risks that have a significant impact on the safety and efficiency of the shipping sector. These risks are: technical issues, legal and regulatory issues, human errors and cyber security issues.

Cybersecurity issues relate to potential cyber-attacks on *MASS* and shore-based control centre systems. Such attacks can result in damage to the technical condition of the vessel and cargo, vessel accidents, environmental pollution, loss of life, loss of confidential data and financial loss. This risk can be minimised by using different cyber defence protocols, cryptography, isolating the *OT* network from the *IT* network, using different devices for information gathering (e.g. several

types of sensors), checking systems for the presence of extraneous programs, paying special attention to protecting interfaces used for artificial intelligence operations.

Technical risks are related to the disruptions of systems and equipment, and their consequences are similar to those of cyber-attacks. To minimise the risks associated with technical disruptions to equipment and systems, artificial intelligence-based systems may be used to regularly check the condition of the ship and on-board systems to ensure that they are functioning properly.

Risks related to legal and regulatory issues are related to the lack of a legal framework to regulate MASS activities at international level. The existence of legal rules is essential to regulate the legal issues related to MASS activities, as the field of autonomous ships contains various aspects that can not be regulated by traditional shipping conventions. This problem is being dealt with by the MASS Working Group, which consists of the *IMO* Maritime Safety Committee, the *IMO* Legal Committee and the *IMO* Maritime Facilitation Committee. A non-imperative code to regulate MASS activities is currently being developed, which is expected to enter into force in 2024, and on the basis of this a mandatory MASS code will be developed, which will enter into force in the first half of 2028.

The risks associated with human error can arise both from direct human intervention in MASS operations in the event of unforeseen situations and from human programming of the systems and algorithms necessary for MASS to function. To minimise such risks, proper training and certification of the persons responsible for this must be put in place, and regular systems checks must be carried out, maintenance measures must be implemented in order to detect possible errors at earlier stages before they can lead to serious consequences.

In the field of autonomous ships, as in traditional shipping, there are risks that must be considered and measures implemented to reduce or possibly prevent them. Despite the risks, autonomous ships can have a positive impact on shipping. The information analysis based on the research part of this thesis has shown that the deployment of MASS has the potential to improve shipping by improving navigation, safety and world economic aspects, reducing environmental pollution and human impact on shipping, optimising costs and logistics. The exploitation of MASS is the future of shipping, so it is important to pay attention to the strategies that improve efficiency and safety on board these vessels. Maritime Autonomous Surface Ships can be operated safely and efficiently by implementing strong cybersecurity measures, integrating advanced systems to improve vessel productivity, optimising energy efficiency and focusing on crew training. With the right

investments in technology and operations, the shipping industry can continue to develop, adapt to a changing industry and become more efficient and safer through the deployment of *MASS*.

Viidatud allikad

- Allianz, 2018. Safety and Shipping Review 2018. <https://www.agcs.allianz.com/news-and-insights/news/safety-shipping-review-2018.html> (13.02.2023)
- Allianz, 2022. Allianz: Shipping Losses Fall, but Ukraine War, Costly Issues with Large Vessels, the Shipping Boom, and Sustainability Concerns Muddy the Waters. <https://allaboutshipping.co.uk/2022/05/10/allianz-shipping-losses-fall-but-ukraine-war-costly-issues-with-large-vessels-the-shipping-boom-and-sustainability-concerns-muddy-the-waters/> (13.02.2023)
- Allianz, Shipping losses, 2018. Shipping losses continue to fall but new cyber and climate risks and perennial human error problem threaten safety progress. <https://www.agcs.allianz.com/news-and-insights/news/safety-shipping-review-2018.html> (13.02.2023)
- Avikus, 2022. World's 1st Autonomous Transoceanic Voyage. <https://avikus.ai/eng/update/view/162?code=0201> (12.03.2023)
- Bakhsh, N., 2020. Last Word: Robotic shipping. <https://lloydslist.maritimeintelligence.informa.com/LL1130888/Last-Word-Robotic-shipping> (08.03.2023)
- Bellintegrator, AI in Transportation. Artificial Intelligence in Transportation. <https://bellintegrator.com/AI-Transportation> (16.04.2023)
- Brancaccio G., Kalouptsidi M., Papageorgiou T., 2020. Geography, Transportation, and Endogenous Trade Costs - The Econometric Society. <http://www.econometricsociety.org/publications/econometrica/2020/03/01/geography-transportation-and-endogenous-trade-costs> (12.04.2023)
- Bureau Veritas, 2019. Guidelines for Autonomous Shipping https://erules.veristar.com/dy/data/bv/pdf/641-NI_2019-10.pdf (24.02.2023)
- Burns, E., AI. What Is Artificial Intelligence (AI)? - AI Definition and How It Works. <https://www.techtarget.com/searchenterpriseai/definition/AI-Artificial-Intelligence> (06.04.2023)
- Callum, B., 2018. Key Advantages and Disadvantages of Ship Autonomy. <https://safety4sea.com/key-advantages-and-disadvantages-of-ship-autonomy/> (29.03.2023)
- Cambridge Dictionary, Autonomous. Autonomous. <https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/autonomous> (15.02.2023)
- Cèsar-Tondreau, B., Warnell G., Stump E., Kochersberger K., Waytowich R., 2021. Improving Autonomous Robotic Navigation Using Imitation Learning. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/frobt.2021.627730> (16.04.2023)

- Chavaillaz, A., Wastell, D., Sauer J., 2016. System Reliability, Performance and Trust in Adaptable Automation. *Applied Ergonomics* 52: 333–42. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2015.07.012> (16.04.2023)
- CHO, S., ORYE, E., VISKY, G., PRATES, V., 2022. Cybersecurity Considerations in Autonomous Ships. https://ccdcoe.org/uploads/2022/09/Cybersecurity_Considerations_in_Autonomous_Ships.pdf (31.03.2023)
- Chougrani, E., Ali, N., Chebotarev, V., 2021. Legal Regulation of the Safety of Autonomous Ships: Environmental Challenges and Approaches“. Toimetanud M. Tsoy. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202129604006> (22.04.2023)
- Clean Shipping International, 2023. KSOE AND ABS SIGN AUTONOMOUS SHIPPING MoU TO CUT EMISSIONS AND IMPROVE SAFETY. <https://www.cleanshippinginternational.com/ksoe-and-abs-sign-autonomous-shipping-mou-to-cut-emissions-and-improve-safety/> (15.03.2023)
- Clinger, S., 2022. Global Trade and the Geopolitical Importance of Straits and Canals. <https://www.theamericangroup.org/articles/global-trade-and-the-geopolitical-importance-of-straits-and-canals> (12.04.2023)
- COLREG (a), 1972. COLREGS – International Regulations for Preventing Collisions at Sea. <https://goo.su/n34GrT6> (20.05.2023)
- COLREG (b), 1972. COLREG - Preventing collisions at sea. <https://www.imo.org/en/OurWork/Safety/Pages/Preventing-Collisions.aspx> (04.04.2023)
- Dean, P., Walters, T., Goulding, J., Clack, H., 2022. Autonomous Ships: The Future Is Now. <https://www.hfw.com/Autonomous-Ships-The-Future-Is-Now> (15.03.2023)
- DGWORLD, 2020. DGWORLD - Ai Autonomous Robotics. <https://www.dgworld.com/new-autonomous-vehicles-to-navigate-their-way-around-middle-east-s-largest-seaport-using-georeferencing-technology-from-xsens.html> (08.08.2023)
- Dittmann, K., Hansen, P., Papageorgiou, D., Jensen S., Lützen, N., Blanke, M., 2021. Autonomous Surface Vessel with Remote Human on the Loop: System Design for STCW Compliance. *IFAC-PapersOnLine* 54, nr 16: 224–31. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2021.10.097> (18.04.2023)
- European Commission, 2022. Emissions-Free Sailing Is Full Steam Ahead for Ocean-Going Shipping. <https://ec.europa.eu/research-and-innovation/en/horizon-magazine/emissions-free-sailing-full-steam-ahead-ocean-going-shipping> (28.03.2023)
- European Commission, 2015. Final Report Summary - MUNIN (Maritime Unmanned Navigation through Intelligence in Networks). <https://cordis.europa.eu/project/id/314286/reporting> (20.04.2023)
- Fortune Business Insights, 2022 .Autonomous Ships Market Size, Share & Growth | Report [2028]. <https://www.fortunebusinessinsights.com/industry-reports/autonomous-ship-market-101797> (15.03.2023)

- FreightWaves, 2019. The Future of Autonomous Ships Rests in Their Ability to Tackle Cyberattacks. <https://www.freightwaves.com/news/the-future-of-autonomous-ships-rests-in-their-ability-to-tackle-cyberattacks> (16.04.2023)
- Galieriková, A., 2019. The Human Factor and Maritime Safety. *Transportation Research Procedia*, TRANSCOM 2019 13th International Scientific Conference on Sustainable, Modern and Safe Transport, 40: 1319–26. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2019.07.183> (22.04.2023)
- Gard Marine & Energy Insurance, 2023. Piracy trends and high risk areas. <https://www.gard.no/web/articles?documentId=34977995> (27.03.2023)
- Haitong, X., Moreira, L., ja Guedes Soares, C., 2023. Maritime Autonomous Vessels. <https://doi.org/10.3390/jmse11010168> (13.02.2023)
- Hasanspahić, N., Vujičić, S., Frančić, V., Čampara, L. 2021. The Role of the Human Factor in Marine Accidents. <https://doi.org/10.3390/jmse9030261> (22.04.2023)
- Hasegawa, K., Shigemori, Y., Ichiyama Y. Feasibility study on Intelligent Marine Traffic System. <http://www.naoe.eng.osaka-u.ac.jp/~hase/cv/papers/060.pdf> (26.02.2023)
- HD Hyundai, 2022. HD Hyundai's Avikus successfully conducts the world's first transoceanic voyage of a large merchant ship relying on autonomous navigation technologies. Press Release. <http://www.hd-hyundai.com/?p=115&idx=735> (16.03.2023)
- Hetherington, C., Flin, R., Mearns, K., 2006. Safety in Shipping: The Human Element. *Journal of Safety Research* 37, nr 4: 401–11. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2006.04.007> (13.02.2023)
- Hogg, T., Ghosh S., 2016. Autonomous merchant vessels: examination of factors that impact the effective implementation of unmanned ships. *Australian Journal of Maritime & Ocean Affairs* 8, nr 3: 206–22. <https://doi.org/10.1080/18366503.2016.1229244> (29.03.2023)
- Hull to Hull, 2020. Hull to Hull. <https://www.sintef.no/projectweb/hull-to-hull/> (28.02.2023)
- IBM, AI. What Is Artificial Intelligence (AI) ? <https://www.ibm.com/topics/artificial-intelligence> (06.04.2023)
- IBM (a). What Is Machine Learning? <https://www.ibm.com/topics/machine-learning> (07.04.2023)
- IBM (b). What Is Deep Learning? <https://www.ibm.com/topics/deep-learning> (07.04.2023)
- IBM (c). What Is Natural Language Processing? <https://www.ibm.com/topics/natural-language-processing> (07.04.2023)
- IBM (d). What Is Computer Vision? <https://www.ibm.com/topics/computer-vision> (07.04.2023)
- ICS, 2018. Piracy and Violence: An Unacceptable Problem. Vaadatud 27. märts 2023. <https://www.ics-shipping.org/current-issue/piracy-and-violence-an-unacceptable-problem/> (27.03.2023)
- ICS, 2019. Shipping and World Trade: Driving Prosperity. <https://www.ics-shipping.org/shipping-fact/shipping-and-world-trade-driving-prosperity/> (12.05.2023)

- IMO, 1978. The Manila Amendments to the Seafarers' Training, Certification and Watchkeeping (STCW) Code. <https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/HumanElement/Documents/34.pdf> (16.04.2023)
- IMO, 1993. INTERNATIONAL MANAGEMENT CODE FOR THE SAFE OPERATION OF SHIPS AND FOR POLLUTION PREVENTION (INTERNATIONAL SAFETY MANAGEMENT (ISM) CODE). [https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/AssemblyDocuments/A.741\(18\).pdf](https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/AssemblyDocuments/A.741(18).pdf) (15.04.2023)
- IMO, 2018. IMO takes first steps to address autonomous ships. <https://imopublicsite.azurewebsites.net/en/MediaCentre/PressBriefings/Pages/08-MS-99-MASS-scoping.aspx> (25.02.2023)
- IMO, Autonomous shipping, 2022. Autonomous shipping. <https://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/Pages/Autonomous-shipping.aspx> (13.02.2023)
- IMO. Human Element. <https://www.imo.org/en/ourwork/humanelement/pages/default.aspx> (26.03.2023)
- IMO, RSE, 2021. Autonomous ships: regulatory scoping exercise completed. <https://imopublicsite.azurewebsites.net/en/MediaCentre/PressBriefings/pages/MASSRSE2021.aspx> (25.02.2023)
- Issa, M., Ilinca, A., Ibrahim, H., Rizk, P., 2022. Maritime Autonomous Surface Ships: Problems and Challenges Facing the Regulatory Process. <https://doi.org/10.3390/su142315630> (04.04.2023)
- Kalouptsidi, M., 2021. The Role of Shipping in World Trade. <https://econofact.org/the-role-of-shipping-in-world-trade> (12.04.2023)
- Kongsberg Maritime, 2023. Kongsberg Maritime is a world leader in marine technology. <https://www.kongsberg.com/maritime/> (07.03.2023)
- KONGSBERG, 2017 . Final design of “Yara Birkeland” revealed – model commences testing at SINTEF OCEAN. <https://www.kongsberg.com/ru/newsandmedia/news-archive/2017/final-design-of-yara-birkeland-revealed--model-commences-testing-at-sintef/> (15.03.2023)
- KONGSBERG, 2018. Wilhelmsen and KONGSBERG Establish World's First Autonomous Shipping Company. <https://www.kongsberg.com/maritime/about-us/news-and-media/news-archive/2018/wilhelmsen-and-kongsberg-establish-worlds-first-autonomous-shipping-company/> (01.03.2023)
- Kongsberg, Yara Birkeland, 2017. Autonomous ship project, key facts about YARA Birkeland. <https://www.kongsberg.com/ru/maritime/support/themes/autonomous-ship-project-key-facts-about-yara-birkeland/> (16.03.2023)
- Kurt, I., Aymelek, M., 2022. Operational and economic advantages of autonomous ships and their perceived impacts on port operations. <https://doi.org/10.1057/s41278-022-00213-1> (12.04.2023)

- Laasma, A., 2020. Autonomsete laevade kasutamise võimalused reisijateveol Eesti kohalikus rannasõidus. <https://digikogu.taltech.ee/et/item/c3ba1584-737c-4063-88cb-90b6a5373581> (22.05.2023)
- Law Insider. Shipmaster Definition. <https://www.lawinsider.com/dictionary/shipmaster> (15.04.2023)
- Leclanché, 2021. Yara Birkeland, World's First 100% Electric and Autonomous E-Container Ship, Fully Powered by a Leclanché Battery System, Prepares for Commercial Operation. <https://www.leclanche.com/yara-birkeland-worlds-first-100-electric-and-autonomous-e-container-ship-fully-powered-by-a-leclanche-battery-system-prepares-for-commercial-operation/> (16.03.2023)
- Lee, C., Yun, G., Hong, J., 2019. A Study on the New Education and Training Scheme for Developing Seafarers in Seafarer 4.0. *Journal of the Korean Society of Marine Environment and Safety* 25, nr 6: 726–34. <https://doi.org/10.7837/kosomes.2019.25.6.726> (20.04.2023)
- Lloyd's List, DSME, 2020. DSME and Rotterdam sign three-year research deal on smart ships and ports. <https://lloydslist.maritimeintelligence.informa.com/LL1133151/DSME-and-Rotterdam-sign-three-year-research-deal-on-smart-ships-and-ports> (08.03.2023)
- Lloyd's List, Keppel Singmarine, 2019. Keppel launches remote tug project as Singapore vies for autonomous shipping leadership. <https://lloydslist.maritimeintelligence.informa.com/LL1126978/Keppel-launches-remote-tug-project-as-Singapore-vies-for-autonomous-shipping-leadership> (04.03.2023)
- Lloyd's Register, 2016. Cyber enabled ships guidance document. <https://www.lr.org/en/cyber-safe-for-marine/> (28.02.2023)
- Lloyd's Register, 2017. First 'Cyber AL3 SECURE PERFORM' Container Ship Delivered LR. <https://www.lr.org/en/latest-news/first-container-ship-to-receive-cyber-enabled-ship-descriptive-note/> (01.03.2023)
- Marine Insight, 2018. DNV GL Releases Autonomous And Remotely Operated Ship Guideline. <https://www.marineinsight.com/shipping-news/dnv-gl-releases-autonomous-and-remotely-operated-ship-guideline/> (01.03.2023)
- Marine Traffic, 2021. Ship PRISM COURAGE (LNG Tanker) Registered in Panama - Vessel Details, Current Position and Voyage Information - IMO 9888481, MMSI 352986205, Call Sign 3E3945 | AIS Marine Traffic. [https://www.marinetraffic.com/en/ais/details/ships/shipid:6721428/mmsi:352986205/imo:9888481/vessel:PRISM COURAGE](https://www.marinetraffic.com/en/ais/details/ships/shipid:6721428/mmsi:352986205/imo:9888481/vessel:PRISM%20COURAGE) (16.03.2023)
- Merkel, D., 2019. Autonomous Ships, Opportunities & Challenges. <https://www.marinelink.com/news/autonomous-ships-opportunities-challenges-471609> (04.04.2023)
- Mitsubishi Heavy Industries, 2022. MEGURI 2040 ~ The Nippon Foundation Fully Autonomous Ship Program ~ Successful Demonstration Test of World's First Fully Autonomous Ship

- Navigation Systems on Coastal Ferry in Northern Kyushu -- Successful Fully Autonomous Navigation of Large, High-Speed Ferry Expected to Improve Safety. <https://www.mhi.com/news/220117.html> (12.03.2023)
- Mittler, A., 2019. Samskip takes lead on zero-emission shipping project. <https://lloydslist.maritimeintelligence.informa.com/LL1125701/Samskip-takes-lead-on-zero-emission-shipping-project> (04.03.2023)
- MOL, 2017. MOL Launches R & D on Autonomous Ocean Transport System - Selected for Japanese Government Transportation Research Program. <https://www.mol.co.jp/en/pr/2017/17031.html> (28.02.2023)
- Mordor Intelligence, 2021. Autonomous Ships Market Size & Share Analysis - Industry Research Report - Growth Trends. <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/autonomous-ships-market> (15.04.2023)
- MSC, 103rd session, 2021. Maritime Safety Committee, 103rd session (MSC 103)“. <https://www.imo.org/en/MediaCentre/MeetingSummaries/Pages/MSC-103rd-session.aspx> (23.03.2023)
- MSC, 104th session, 2021. Maritime Safety Committee (MSC), 104th session, 4-8 October 2021. <https://www.imo.org/en/MediaCentre/MeetingSummaries/Pages/MSC-104th-session.aspx> (24.03.2023)
- MSC, 105th session, 2022. Maritime Safety Committee (MSC 105), 20-29 April 2022. <https://www.imo.org/en/MediaCentre/MeetingSummaries/Pages/MSC-105th-session.aspx> (24.03.2023)
- MUNIN, 2013. MARITIME UNMANNED NAVIGATION THROUGH INTELLIGENCE IN NETWORKS. <http://www.unmanned-ship.org/munin/wp-content/uploads/2013/01/MUNIN-Brochure.pdf> (27.02.2023)
- New Zealand Embassy, 2021. The Importance of the Suez Canal to Global Trade. <https://www.mfat.govt.nz/en/trade/mfat-market-reports/the-importance-of-the-suez-canal-to-global-trade-18-april-2021/> (12.04.2023)
- NTNU AMOS. About NTNU AMOS. <https://www.ntnu.edu/amos/about-amos> (27.02.2023)
- NYK, 2019. NYK Conducts World's First Maritime Autonomous Surface Ships Trial. september. https://www.nyk.com/english/news/2019/20190930_01.html (08.03.2023)
- Ocean Infinity, 2022. Armada Launches to Sea - Ocean Infinity. <https://oceaninfinity.com/armada-launches-to-sea/> (08.03.2023)
- Ocean Infinity, 2023 .Our First Armada Ship Arrives in Norway - Ocean Infinity. <https://oceaninfinity.com/our-first-armada-ship-arrives-in-norway/> (08.03.2023)
- Offshore Energy, 2015. Rolls-Royce Spearheads Study into Autonomous Ships. <https://www.offshore-energy.biz/rolls-royce-spearheads-study-into-autonomous-ships/> (27.02.2023)

- One Sea, ESA, 2019. European Space Agency To Partner With One Sea Alliance On Maritime Digitalisation And Autonomous Shipping Initiatives. <https://one-sea.org/european-space-agency-to-partner-with-one-sea-alliance-on-maritime-digitalisation-and-autonomous-shipping-initiatives/> (08.03.2023)
- OSS, 2023. Artificial Intelligence in Maritime Applications. <https://onestopsystems.com/blogs/one-stop-systems-blog/artificial-intelligence-in-maritime-applications> (22.04.2023)
- Ozdel, M., 2021. Reconceptualising the Nautical Fault Exception in the Fog of Emerging Technologies. *Industrial Law Journal* 51, nr 3 (1. september 2022): 672–95. <https://doi.org/10.1093/indlaw/dwab028> (03.04.2023)
- Phelps, S., 2022. Amsterdam Autonomous Boats Revitalise Urban Waterways, Reduce Emissions. <https://ibexpub.media/amsterdam-autonomous-boats-revitalise-urban-waterways-reduce-emissions/> (04.04.2023)
- Port of Rotterdam, 2020. MASS Port Network Established. <https://www.portofrotterdam.com/en/news-and-press-releases/mass-port-network-established> (08.03.2023)
- Pribyl, S., Weigel, A., 2017. Autonomous Vessels: How an Emerging Disruptive Technology Is Poised to Impact the Maritime Industry Much Sooner Than Anticipated. <https://www.jdsupra.com/legalnews/autonomous-vessels-how-an-emerging-24017/> (29.03.2023)
- RB, 2022. Impact of Weather Conditions on Sensors in Autonomous Vehicles. <https://roboticsbiz.com/impact-of-weather-conditions-on-sensors-in-autonomous-vehicles/> (04.04.2023)
- Reyes, K., 2023. What Is Deep Learning and How Does It Works. <https://www.simplilearn.com/tutorials/deep-learning-tutorial/what-is-deep-learning> (07.04.2023)
- Rodrigue, J., 2017. Key Issues in Urban Freight Transportation | The Geography of Transport Systems. <https://transportgeography.org/contents/chapter8/urban-transport-challenges/key-urban-freight-issues/> (04.04.2023)
- Rolls-Royce, 2017. Rolls-Royce demonstrates world's first remotely operated commercial vessel. <https://www.rolls-royce.com/media/press-releases/2017/20-06-2017-rr-demonstrates-worlds-first-remotely-operated-commercial-vessel.aspx> (27.02.2023)
- Rolls-Royce, 2018. Rolls-Royce and AXA to jointly develop risk management products for autonomous shipping. <https://www.rolls-royce.com/media/press-releases/2018/14-05-2018-rr-and-axa-to-jointly-develop-risk-management-products-for-autonomous-shipping.aspx> (01.03.2023)
- SAFETY4SEA, 2022. 9 Key Principles of Maritime Autonomous Ship Systems. <https://safety4sea.com/9-key-principles-of-maritime-autonomous-ship-systems/> (04.04.2023)

- SAS (a). Natural Language Processing (NLP): What It Is and Why It Matters. https://www.sas.com/en_us/insights/analytics/what-is-natural-language-processing-nlp.html (07.04.2023)
- SAS (b). Computer Vision: What it is and why it matters. https://www.sas.com/en_us/insights/analytics/computer-vision.html (07.04.2023)
- Schelin, J., 2019. The Responsibility for Unmanned Ships – Shipmaster’s Position. <http://www.maritimelawlibrary.se/wp-content/uploads/2020/04/Responsibility-for-Unmanned-Ships.pdf> (18.04.2023)
- Sea Machines, 2022. Sea Machines Unveils AI-Ris Computer Vision, the Biggest Advancement in Vessel Navigation Instrumentation Since GPS. <https://sea-machines.com/sea-machines-unveils-ai-ris-computer-vision-the-biggest-advancement-in-vessel-navigation-instrumentation-since-gps/> (04.04.2023)
- Shen, C., 2019. Autonomous shipping boost for Zhuhai. <https://lloydslist.maritimeintelligence.informa.com/LL1128508/Autonomous-shipping-boost-for-Zhuhai> (08.03.2023)
- Son, Nam-sun, Kim, Sun-Young, 2018. On the sea trial test for the validation of an autonomous collision avoidance system of unmanned surface vehicle, ARAGON. <https://doi.org/10.1109/OCEANS.2018.8604803> (27.02.2023)
- Späth, N., 2019. ROMAS Project Completes First Phase of Remote Machinery Operation Testing. <https://www.dnv.com/news/romas-project-completes-first-phase-of-remote-machinery-operation-testing-149171> (08.03.2023)
- Srinivasan, A., 2022. IMO Sets the Course of New Regulation of Maritime Autonomous Ships. <https://www.bimco.org/insights-and-information/safety-security-environment/20220602-msc105> (23.03.2023)
- SSH, 2016. Maritime Collisions: Types and Causes. <https://maintenanceandcure.com/maritime-blog/types-of-maritime-collision-causes/> (04.04.2023)
- SSH, 2019. How Autonomous Shipping Is Affecting the Maritime Industry. <https://maintenanceandcure.com/maritime-blog/how-autonomous-shipping-is-affecting-the-maritime-industry/> (05.04.2023)
- Statista Research Department, 2022. Number of Pirate Attacks Worldwide. <https://www.statista.com/statistics/266292/number-of-pirate-attacks-worldwide-since-2006/> (14.04.2023)
- Zang, S., Ding, M., Kaafar, D., 2019. The Impact of Adverse Weather Conditions on Autonomous Vehicles: Examining how rain, snow, fog, and hail affect the performance of a self-driving car. https://www.researchgate.net/publication/331723697_The_Impact_of_Adverse_Weather_Conditions_on_Autonomous_Vehicles_Examining_how_rain_snow_fog_and_hail_affect_the_performance_of_a_self-driving_car (04.04.2023)

- The Business Research Company, 2023. Autonomous Ships Market Size, Trends and Global Forecast To 2032. <https://www.thebusinessresearchcompany.com/report/autonomous-ships-global-market-report> (15.04.2023)
- The Nippon Foundation, 2022. The Nippon Foundation MEGURI2040 Fully Autonomous Ship Program. <https://www.nippon-foundation.or.jp/en/news/articles/2022/20220118-66716.html> (16.03.2023)
- Tusher, H., Minim, Z., Notteboom, T., Kim, T., Nazir, S., 2022. Cyber security risk assessment in autonomous shipping. https://openarchive.usn.no/usn-xmlui/bitstream/handle/11250/3034933/2022TusherCyber_POSTPRINT.pdf?sequence=4 (16.04.2023)
- UNCTAD, 2022. Review of Maritime Transport 2022. <https://unctad.org/rmt2022> (28.03.2023)
- UNCTAD, MASS, 2022. Maritime Autonomous Surface Ships: A Critical ‘MASS’ for Legislative Review. <https://unctad.org/news/transport-newsletter-article-no-97-fourth-quarter-2022> (16.04.2023)
- Verma, P., Diamantidis, S., 2021. What Is Reinforcement Learning? <https://www.synopsys.com/ai/what-is-reinforcement-learning.html> (07.04.2023)
- Vincent Wee, VTMS, 2019. Singapore to develop digital technologies to manage vessel traffic. <https://lloydslist.maritimeintelligence.informa.com/LL1126992/Singapore-to-develop-digital-technologies-to-manage-vessel-traffic> (04.03.2023)
- Vojković, G., Milenković, M., 2020. Autonomous Ships and Legal Authorities of the Ship Master. *Case Studies on Transport Policy* 8, nr 2: 333–40. <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2019.12.001> (15.04.2023)
- Wee, V., 2020. Autonomous ships platform project launched. <https://lloydslist.maritimeintelligence.informa.com/LL1133395/Autonomous-ships-platform-project-launched> (08.0.2023)
- Whiteford, S., 2021. How Do Autonomous Vessels Work? <https://www.onesteppower.com/post/autonomous-vessels> (16.04.2023)
- Wijaya, M., 2023. NYK partners with technology company Ghelia to adopt AI in shipping. <https://lloydslist.maritimeintelligence.informa.com/LL1143805/NYK-partners-with-technology-company-Ghelia-to-adopt-AI-in-shipping> (15.03.2023)
- Wijaya, M., HHI, 2023. HHI’s autonomous navigation system gets approval. <https://lloydslist.maritimeintelligence.informa.com/LL1143834/HHIs-autonomous-navigation-system-gets-approval> (15.03.2023)
- Wróbel, K., Montewka, J., Kujala, P. Towards the Assessment of Potential Impact of Unmanned Vessels on Maritime Transportation Safety. *Reliability Engineering & System Safety* 165: 155–69. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2017.03.029> (26.03.2023)
- Yara International, 2023. Responsibly Feed the World and Protect the Planet. <https://www.yara.com/> (15.03.2023)

Yara International, 2022. Yara Birkeland | Yara International. <https://www.yara.com/news-and-media/media-library/press-kits/yara-birkeland-press-kit/> (16.02.2023)

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina, Marina Grozdova:

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose „Autonoomsete laevade kasutuselevõtu võimalikud mõjud meretranspordi efektiivsusele ja meresõiduohutusele“, mille juhendaja on Anatoli Alop:

1.1 reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

23.05.2023

¹ Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal vastavalt üliõpilase taotlusele lõputööle juurdepääsupiirangu kehtestamiseks, mis on allkirjastatud teaduskonna dekaani poolt, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil. Kui lõputöö on loonud kaks või enam isikut oma ühise loomingulise tegevusega ning lõputöö kaas- või ühisautor(id) ei ole andnud lõputööd kaitsvale üliõpilasele kindlaksmääratud tähtjaks nõusolekut lõputöö reprodutseerimiseks ja avalikustamiseks vastavalt lihtlitsentsi punktidele 1.1. ja 1.2, siis lihtlitsents nimetatud tähtjaja jooksul ei kehti.