

Automaation nykytila ja tulevaisuus Suomen konttisatamissa

Toimitusketjujen johtamisen
pro gradu -tutkielma

Laatija:
Elmer Vilén

Ohjaaja:
KTT Tomi Solakivi

25.2.2025
Turku

Turun yliopiston laatujärjestelmän mukaisesti tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck -järjestelmällä.

Pro gradu -tutkielma

Oppiaine: Toimitusketjujen johtaminen

Tekijä: Elmer Vilén

Otsikko: Automaation nykytila ja tulevaisuus Suomen konttisatamissa

Ohjaajat: KTT Tomi Solakivi

Sivumäärä: 116 sivua + liitteet 8 sivua

Päivämäärä: 25.2.2025

Teollisuus 4.0:n aikakaudella digitalisaation ja teknologisen kehityksen seurauksena automaatioteknologioiden hyödyntäminen on noussut keskeiseen rooliin konttisatamissa. Akateeminen tutkimus aihealueesta painottuu pääasiassa maailman suurimpiin, älykkäisiin konttisatamiin, ja niissä hyödynnettäviin automaatioteknologioihin eikä automaation hyödyntämisestä Suomen konttisatamien kaltaisissa pienemmissä konttisatamissa ole vielä kattavasti tutkimusta. Tämä pro gradu -tutkielma tarkastelee, missä määrin automaatioteknologioita hyödynnetään tällä hetkellä Suomen konttisatamissa, ja millaisia ovat potentiaaliset tulevaisuuden automaatioinvestoinnit. Tutkielma selvittää lisäksi automaation mahdollisuuksia ja haasteita sekä tunnistaa tekijöitä, jotka voivat estää automaatioteknologioiden laajamittaisen käyttöönoton pienissä konttisatamissa. Tutkielma pyrkii vastaamaan empiiristen tutkimusmenetelmien avulla päätutkimuskysymykseen: Miten automaatiota voidaan hyödyntää Suomen konttisatamissa tulevaisuudessa?

Tutkimuksen teoreettinen viitekehys perustuu konttiterminaalin toimintaperiaatteen syvälliseen ymmärtämiseen sekä neljännen teollisen vallankumouksen älykkäisiin teknologioihin, kuten tekoälyyn, koneoppimiseen ja IoT:hen, jotka toimivat merkittävinä konttisatamissa hyödynnettävien automaatioteknologioiden mahdollistajina. Tutkimus on toteutettu kvalitatiivisena eli laadullisena tutkimuksena ja tutkimuksen empiirinen aineisto on kerätty puolistrukturoitujen asiantuntijahaastattelujen avulla. Haastateltaviksi on valittu Suomen konttisatamien keskeisiä sidosryhmiä, kuten satamayhtiöitä ja -operaattoreita. Empiirisen tutkimusaineiston analysoinnissa on hyödynnetty laajasti teemoittelua ja tyypittelyä. Näiden empiirisen aineiston analysointimenetelmien avulla on kyetty muodostamaan perusteellinen ymmärrys Suomen konttisatamien automaation nykytilasta ja tulevaisuuden kehityksestä sekä vastaamaan kattavasti päätutkimuskysymykseen sekä siitä johdettuihin neljään alatutkimuskysymykseen.

Automaatioteknologioita hyödynnetään älykkäissä satamissa maailmalla laajasti eri terminaalitoiminnoissa aina porteilta satamalaiturille asti. Tutkimuksen tulokset osoittavat, että Suomen konttisatamien automaation kehitys on kuitenkin ollut toistaiseksi maltillista ja pääasiassa vain porttitoiminnot on laajemmin automatisoitu. Tämän lisäksi pientä automaatiota on havaittavissa myös lastinkäsittelylaitteissa. Nykyisen automaation merkittävimpinä ajureina ovat toimineet kustannussäästöt henkilöstökustannuksissa sekä alueiden käytön tehostaminen. Vaikka automaation hyödyntämisen taso on Suomessa alhainen, satamaoperaattorit tunnistavat tarpeen automaatioinvestoinneille ja automaation kehitys on niin ikään menossa oikeaan suuntaan. Potentiaalisia automaatioteknologioiden implementoinnin avulla saavutettavia hyötyjä ovat operatiivisen tehokkuuden ja tuottavuuden parantaminen, kustannusten alentaminen, ympäristöystävällisyyden edistäminen sekä turvallisuuden ja turvatoimien lisääminen.

Tutkimus tuo kattavasti esille myös keskeiset tekijät, jotka aiheuttavat haasteita automaatioinvestointien toteuttamiselle tai jopa estävät automaatioteknologioiden käyttöönoton. Automaation laajamittaista käyttöönottoa rajoittavat etenkin satamien pienet konttivolyymit, korkeat alkuinvestointikustannukset sekä pohjoisen alueen tyypilliset sääolosuhteet, kuten lumiset talvet ja suuret lämpötilanvaihtelut. Siitä huolimatta, että tämän tutkimuksen kohteena olivat Suomen konttisatamat, ovat tutkimustulokset yleistettävissä myös muihin, etenkin Itämeren alueella toimiviin, kooltaan pieniin konttisatamiin, joiden toimintaperiaate ja konttisatamille tyypilliset ominaisuudet ovat hyvin samankaltaisia kuin Suomen konttisatamilla.

Avainsanat: automaatio, konttisatama, teollisuus 4.0, älykäs satama

SISÄLLYS

1	Johdanto	10
1.1	Tutkimuksen tausta ja tavoitteet	10
1.2	Tutkimuksen rajaukset	12
1.2.1	Teknologiset rajaukset	12
1.2.2	Maantieteellinen rajaus	13
1.2.3	Ajallinen rajaus	14
1.2.4	Käsitteelliset rajaukset	14
1.3	Tutkimusongelma- ja kysymykset	16
1.4	Tutkimuksen rakenne	18
2	Merikuljetukset ovat maailmantalouden selkäranka	20
2.1	Lyhyt yleiskatsaus merikuljetuksiin	20
2.2	Kontistuminen ja konttiliikenteen kehitys	22
2.3	Konttisatamaympäristö	25
2.3.1	Konttisatamat ja konttiterminaalien toimintaperiaate	25
2.3.2	Konttiterminaalien lastinkäsittelylaitteet	28
2.3.3	Konttisataman sidosryhmät	30
2.4	Konttisatamat Suomessa ja maailmalla	31
3	Älykkäät teknologiat konttisatamaympäristössä	37
3.1	Satama 4.0-konsepti ja sen keskeiset teknologiat	37
3.2	Tekoälyn ja koneoppimisen soveltaminen älykkäässä satamassa	40
3.3	IoT:n soveltaminen älykkäässä satamassa	41
4	Automatisoidut konttiterminaalit	44
4.1	Konttiterminaalien automaatio	45
4.1.1	Konttiterminaalien automatisointiaste ja automaation kehitys	46
4.1.2	Konttiterminaalitoimintojen automatisointi käytännössä	47
4.1.3	TOS-järjestelmä automatisoidussa konttiterminaalissa	50
4.2	Automaation ajurit ja hyödyt konttiterminaleissa	51
4.2.1	Operatiivisen tehokkuuden ja tuottavuuden näkökulma	51
4.2.2	Kustannustehokkuuden näkökulma	53
4.2.3	Ympäristöystävällisyyden näkökulma	53
4.2.4	Turvallisuuden ja turvatoimien näkökulma	54

4.2.5	Muut automaation ajurit	56
4.3	Automaatioteknologioiden implementoinnin haasteet	56
5	Empiirisen tutkimuksen toteutus	60
5.1	Tutkimusmenetelmän kuvaus	60
5.2	Empiirisen aineiston hankintamenetelmät	63
5.3	Empiirisen aineiston analysointimenetelmät	66
5.4	Tutkimuksen laadun arviointi	67
6	Empiiristen tutkimustulosten analysointi	70
6.1	Automaation nykytila Suomen konttisatamissa	70
6.1.1	Automaation hyödyntäminen päivittäisessä operoinnissa	70
6.1.2	Automaation ajurit	73
6.1.3	Automaation konkreettiset vaikutukset	75
6.2	Tulevaisuuden näkymät: Investoinnit automaatioteknologiaihin	76
6.2.1	Käynnissä olevat automaatiohankkeet	76
6.2.2	Potentiaaliset tulevaisuuden automaatioinvestoinnit	77
6.2.3	Automaatioinvestointien toteutusaikataulu	79
6.3	Tulevaisuuden automaatioinvestointien mahdollisuudet ja hyödyt	80
6.3.1	Operatiivinen tehokkuus ja tuottavuus	81
6.3.2	Kustannustehokkuus	83
6.3.3	Ympäristöystävällisyys	83
6.3.4	Turvallisuus ja turvatoimet	85
6.3.5	Muut automaatioinvestointien mahdollisuudet ja hyödyt	86
6.4	Haasteet ja esteet automaatioinvestointien toteuttamiselle	87
6.4.1	Konttisatamien pienet volyymit	88
6.4.2	Taloudelliset esteet	90
6.4.3	Suomen sääolosuhteet	91
6.4.4	Muut automaatioteknologiaihin liittyvät haasteet	92
7	Johtopäätökset ja keskustelu	95
7.1	Tutkimuksen johtopäätökset	95
7.2	Tutkimuksen teoreettinen ja käytännön kontribuutio	104
7.3	Tutkimuksen rajoitukset ja jatkotutkimusehdotukset	105
	Lähteet	109

Liitteet	117
Liite 1. Laiturinosturi	117
Liite 2. AGV-ajoneuvo	117
Liite 3. Terminaalitraktori	118
Liite 4. Lukkitrucki	118
Liite 5. Yläkuormaaja	119
Liite 6. Konttikurottaja	119
Liite 7. RMG	120
Liite 8. RTG	120
Liite 9. ASC	121
Liite 10. Haastattelurunko satamayhtiö	121
Liite 11. Haastattelurunko satamaoperaattori	123

KUVIOT

KUVIO 1 VALTAMERI- JA FEEDER-LIIKENNE KAHDEN ALUEEN VÄLILLÄ	22
KUVIO 2 MAAILMANLAAJUISEN KONTTILIIKENTEN KEHITYS 1996–2023	24
KUVIO 3 KONTTITERMINAALIN TOIMINTAPERIAATE JA PÄÄTOIMINTA-ALUEET	27
KUVIO 4 SUOMEN KONTTILIIKENTEN KOKONAISSVOLYYMIT VUOSINA 2017–2023	34
KUVIO 5 SUOMEN SUURIMPIEN KONTTISATAMIEN KOKONAISSVOLYYMIT 2016–2023.....	35
KUVIO 6 TUTKIMUSOTTEET	62
KUVIO 7 AUTOMAATION AJURIT SUOMESSA	73
KUVIO 8 TULEVAISUUDEN AUTOMAATIOINVESTOINTIEN MAHDOLLISUUDET JA HYÖDYT	81
KUVIO 9 AUTOMAATION HAASTEET JA ESTEET	88
KUVIO 10 AUTOMAATIOINVESTOINTIEN KESKEISET HYÖDYT JA HAASTEET.....	100
KUVIO 11 AUTOMAATION TULEVAISUUDEN KEHITYS	103

TAULUKOT

TAULUKKO 1 KONTTITERMINAALIN LASTINKÄSITTELYLAITTEET	30
TAULUKKO 2 MAAILMAN SUURIMPIEN KONTTISATAMIEN KONTTIVOLYYMIT VUONNA 2023	32
TAULUKKO 3 SUOMEN SUURIMPIEN KONTTISATAMIEN VOLYYMIT VUONNA 2023.....	33
TAULUKKO 4 KESKEISIMMÄT SATAMA 4.0:N TEKNOLOGIAT	39
TAULUKKO 5 TERMINAALITOIMINTOJEN AUTOMATISOINTI	47
TAULUKKO 6 DROONIEN HYÖDYNTÄMINEN KONTTITERMINAALIALUEELLA	50
TAULUKKO 7 AUTOMAATION PÄÄAJURIT JA KESKEISIMMÄT VAIKUTUKSET	55
TAULUKKO 8 AUTOMAATION HAASTEET KONTTITERMINAALISSA.....	59
TAULUKKO 9 TOTEUTETUT HAASTATTELUT	65
TAULUKKO 10 AUTOMAATIO SUOMEN KONTTISATAMISSA VS. ÄLYKKÄISSÄ SATAMISSA MAAILMALLA .	96

Lyhenneluettelo

AGS	Automated Gate Systems, automaattiset porttijärjestelmät
AGV	Automated Guided Vehicle, automaattisesti ohjattu ajoneuvo konttien liikuttamiseen
ASC	Automated Stacking Crane, automaattinen konttien pinoamisnosturi, esim. ARMG tai ARTG
ASSC	Automated Ship-to-Shore Crane, automatisoitu ja kauko-ohjattava versio tavallisesta laiturinosturista
CHE	Container Handling Equipment, konttien käsittelylaitteet
DSS	Deep Sea Shipping, mannerten välinen, valtameren ylittävä merenkulku
FEU	Forty-foot Equivalent Unit, 40 jalan standardikontti
IoT	Internet of Things, esineiden internet
Lo-Lo	Lift-on/lift-off, alus, tyypillisesti konttialus, jonka kannella on omat nosturit rahdin purkamiseen/lastaamiseen
OCR	Optimal Character Recognition, optimaalinen merkintunnistustekniikka konttinumeroiden tunnistamiseksi
QC	Quay Crane, laiturinosturi konttien nostamiseen aluksesta/alukseen
RFID	Radio Frequency Identification, automaattinen tunnistustekniikka konttien tunnistamiseen radioaaltojen välityksellä
RMG	Rail-Mounted Gantry Crane, kiskoilla kulkeva nosturi konttien pinoamiseen
Ro-Ro	Roll-on/roll-off, pyörillä varustettujen ajoneuvojen kuljettamiseen suunniteltu alus
RTG	Rubber-Tired Gantry Crane, kumipyörillä kulkeva nosturi konttien pinoamiseen
STS	Ship-to-shore crane, laiturinosturi (QC)
SC	Straddle Carrier, lukkitrukki konttien liikuttamiseen ja nostamiseen konttikentällä
SSS	Short Sea Shipping, lyhyen matkan merenkulku
TEU	Twenty-foot Equivalent Unit, 20 jalan standardikontti

1 Johdanto

1.1 Tutkimuksen tausta ja tavoitteet

Merikuljetukset ovat tärkein, tehokkain ja ympäristöystävällisin kuljetusmuoto. Kansainvälisen kaupan ja konttialusten koon sekä sitä kautta satamien käsittelemien konttivolyymien alati kasvaessa konttisatamat muodostavat elintärkeän solmukohdan kansainvälisessä logistiikkaverkostossa. Konttisatamaverkosto muodostaa niin ikään globaalin maailmantalouden selkärangan, ja satamat ympäri maailmaa toimivat sekä liikenteen että kaupan moottoreina mahdollistaen logistiikka- ja toimitusketjujen sujuvan toiminnan. (Wilsmeier & Monios 2020.) Globaalien taloushaasteiden, kilpailun kiristymisen, konttivolyymien lisääntymisen ja ympäristöhuolten keskellä konttisatamien tehokkuuden ja tuottavuuden, kustannustehokkuuden, ympäristöystävällisyyden sekä turvallisuuden optimointi on noussut keskeiseksi kysymykseksi, joihin satamaoperaattorit pyrkivät vastaamaan etsimällä innovatiivisia ratkaisuja (Jobran & Kara 2022). 2010-luvulta alkaen neljännen teollisen vallankumouksen (engl. *Industry 4.0*) seurauksena huimasti kehittyneet älykkäät teknologiat tarjoavatkin ainutlaatuisen mahdollisuuden optimoida konttisatamien toimintaa monilla eri tasoilla innovatiivisia ratkaisuja hyödyntäen ja sataman kilpailukykyä parantaen erityisesti tehokkuuden, ympäristöystävällisyyden ja turvallisuuden näkökulmat huomioiden. (Heikkilä ym. 2022; Benayoune 2023.)

Alan tieteellisessä kirjallisuudessa nousee usein esille englanninkielinen termi *smart port*, joka vapaasti suomennettuna tarkoittaa älykästä satamaa. Älykkään sataman käsite on olennaisesti kytköksissä neljänteen teolliseen vallankumoukseen, jossa perinteistä teollista tuotantoa ja digitalisaatiota yhdistetään muun muassa älykkäiden teknologioiden ja automaation avulla. Teollisuus 4.0:n seurauksena uusia digitaalisia sovelluksia ja älykkäitä teknologioita on otettu käyttöön useilla toimialoilla ympäri maailmaa, mukaan lukien myös satama- ja merenkulkualalla. (Heikkilä ym. 2022.) Kirjallisuudessa teollisuus 4.0 on määritelty yksinkertaisesti teollisuuden koneiden ja prosessien älykkääksi verkottamiseksi tieto- ja viestintätekniiikan avulla (Reischauer 2018). Termit satama 4.0 ja älykäs satama puolestaan tarkoittavat älykkäiden teknologioiden, kuten tekoälyn, koneoppimisen ja IoT:n soveltamista älykkäässä satamaympäristössä, jossa useimmat satamatoiminnot on automatisoitu (Heikkilä ym. 2022).

Teollisuus 4.0 kokonaisuuteen keskeisesti liittyviä teknologioita ovat esimerkiksi tekoäly (engl. *Artificial Intelligence, AI*) ja koneoppiminen (engl. *Machine Learning, ML*), esineiden internet (engl. *Internet of Things, IoT*) sekä edellä mainittujen teknologioiden mahdollistamat automaatio, dronit ja robotiikka (engl. *Automation, Drones and Robotics*) (de la Peña Zarzuelo ym 2020). Tekoäly, koneoppiminen ja IoT toimivat siis automaation, droonien ja robotiikan keskeisimpinä mahdollistavina teknologioina. Automaatio vaikuttaa laajasti konttisataman eri osa-alueisiin, ja se toimii avainasemassa konttisataman operatiivisen tehokkuuden ja tuottavuuden sekä sataman kustannustehokkuuden, ympäristöystävällisyyden ja turvallisuuden parantamisessa. Tästä syystä automaatiota pidetäänkin eräänlaisena satama 4.0:n kulmakivenä, sillä automatisoitu konttiterminaali on tehokkaampi, ympäristöystävällisempi ja turvallisempi perinteisiin konttiterminaaleihin verrattuna. (Knatz ym. 2023.)

Maailman johtavissa ja edistyneisimmissä konttisatamissa, kuten Rotterdamin, Hampurin ja Singaporen satamissa, automaatioteknologioita hyödynnetään jo laajasti osana satamien päivittäistä toimintaa. Älykkäät konttisatamat maailmalla ovat käynnistäneet useita erilaisia terminaalitoimintojen automatisointiin tähtääviä hankkeita ja projekteja, joiden avulla ne pyrkivät implementoimaan automaatioteknologiaa sekä muita älykkäitä teknologioita tehostaakseen satamatoimintojaan. Tehokkaammat automatisoidut satamaprosessit voivat tukea nopeampaa ja turvallisempaa lastinkäsittelyä esimerkiksi automatisoitujen konttien lastaus- ja purkujärjestelmien avulla, kun taas automaation mahdollistamat ympäristöystävällisemmät teknologiaratkaisut, kuten sähkökäyttöiset AGV:t (engl. *Automated Guided Vehicle*), voivat vähentää sataman toiminnasta aiheutuvaa ekologista jalanjälkeä parantaen näin sataman energiatehokkuutta. Automaatioteknologiat mahdollistavat lisäksi paremman työturvallisuuden lastinkäsittelylaitteiden automatisoinnin seurauksena sekä satama- ja terminaalialueen tehokkaamman valvonnan mahdollisten turvallisuusuhkien osalta erilaisten valvonta-, seuranta- ja turvallisuusjärjestelmien avulla. (Knatz ym. 2023.) Toisaalta automaation sekä muiden älykkäiden teknologioiden käytön laajamittainen lisääntyminen altistaa konttiterminaalit ja niiden toiminnot kyberhyökkäyksille, joten automaation laajamittaisen hyödyntämisen seurauksena kyberturvallisuuden merkitys automatisoiduissa konttisatamissa on korostunut (de la Pena Zarzuelo ym. 2020).

Suomen konttisatamat eivät ole poikkeus tässä teknologisessa kehityksessä. Vaikka ne ovat kansainvälisessä vertailussa kooltaan sekä konttivolyymeiltään pieniä, myös Suo-

men konttisatamien on pyrittävä hyödyntämään teollisuus 4.0:n teknologioiden tuomia mahdollisuuksia säilyttääkseen kilpailukykyä kansainvälisessä toimintaympäristössä. Suomen konttisatamat eivät osin huomattavasti alhaisempien konttivolyyymien takia ole kuitenkaan vielä kovin pitkälle automatisoituja. Automaatioteknologioiden implementointia voivat rajoittaa esimerkiksi korkeat alkuinvestoinnit, pienet konttivolyyymit, haasteet järjestelmäintegraatiossa, lisääntyneet kyberuhkat sekä digitaalisen osaamisen puute (Knatz ym. 2023). Osin näistä syistä Suomen konttisatamissa ei välttämättä ole vielä katsottu oleelliseksi investoida kovin laajasti automaatioteknologiaihin.

Tämän pro gradu -tutkielman tavoitteena on selvittää, missä määrin Suomen konttisatamissa hyödynnetään tällä hetkellä automaatiota konttiterminalien alueella ja millaisia ovat tulevaisuuden automaatioinvestoinnit sekä millä aikataululla mahdolliset investoinnit voitaisiin toteuttaa. Lisäksi tutkimus pyrkii selvittämään, mitkä ovat tulevaisuuden automaatioinvestointien Suomen konttisatamille tuomat mahdollisuudet ja haasteet sekä mahdolliset esteet automaatioinvestointien toteuttamiselle.

1.2 Tutkimuksen rajaukset

1.2.1 Teknologiset rajaukset

Satama 4.0-konseptia sekä älykkäitä satamia käsittelevä akateeminen kirjallisuus on pirstaleista eikä termeille ole vakiintuneita määritelmiä (Li ym. 2023). Myöskään älykkäissä satamissa hyödynnettävistä teollisuus 4.0:n teknologioista ei ole yksiselitteistä määritelmää. Tästä syystä useat tutkimukset keskittyvätkin tarkastelemaan älykkäitä satamia vain yhden tai muutaman teollisuus 4.0:n teknologian näkökulmasta. (Molavi ym. 2019; Triska ym. 2024.) Kaikkia teollisuus 4.0:n teknologioita ja niiden soveltamista konttisatamissa ei näin ollen ole mahdollista tutkia tässä tutkielmassa ilman, että tutkielmasta tulisi liian laaja pro gradu -tutkielmaksi. Teollisuus 4.0:n teknologioiden ja niiden vaikutusten osalta on siis rajattava tarkasteluun tietty näkökulma. Teollisuus 4.0:n teknologioilla tarkoitetaan tässä tutkimuksessa tekoälyä ja koneoppimista, IoT:tä sekä automaatiota. Tämä pro gradu -tutkielma painottuu erityisesti automaation hyödyntämiseen konttisatamaympäristössä tekoälyn, koneoppimisen ja IoT:n toimiessa keskeisinä automaation mahdollistajina eli niin sanottuina taustatekijöinä.

Tutkimuksen rajaamista edellä mainittuihin teollisuus 4.0:n teknologioiden näkökulmiin voidaan perustella sillä, että ne ovat merkittävimmin konttisatamien toimintaan vaikutta-

vat sekä samalla myös eniten akateemisessa kirjallisuudessa käsitellyt teollisuus 4.0:n teknologiat (de la Peña Zarzuelo ym. 2020). Lisäksi automaation vaikutuksia ja sen tulevaisuuden potentiaalia sekä maailmanlaajuisessa että Suomen kontekstissa ei ole vielä tutkittu laajasti akateemisessa kirjallisuudessa, mikä osaltaan motivoi tutkimaan aihetta (Chu ym. 2018). Automaation vaikutuksia konttisatamiin tarkastellaan tässä tutkimuksessa operatiivisen tehokkuuden ja tuottavuuden, kustannustehokkuuden, ympäristöystävällisyyden sekä turvallisuuden näkökulmista, koska automaation hyödyntämisen on huomattu vaikuttavan merkittävästi juuri edellä mainittuihin näkökulmiin (Knatz ym. 2023). Tutkimuksen rajausta voidaan perustella hyvin seuraavan Junin ym. (2018) älykkään sataman määritelmän avulla: ”älykäs satama hyödyntää teknologioita, jotka parantavat sekä konttisataman tuottavuutta että tehokkuutta, mutta myös turvallisuutta ja ympäristöystävällisyyttä käyttämällä automatisoituja järjestelmiä, jotka mahdollistetaan älykkäiden teknologioiden, kuten tekoälyn ja IoT:n avulla.”

Automaation lukuisten hyödyntämismahdollisuuksien vuoksi tutkielma on rajattu tarkastelemaan pääasiassa konttiterminaalien lastinkäsittelylaitteiden sekä porttitoimintojen automatisointia tietojärjestelmien automatisoinnin tarkastelun jäädessä vähäisemmälle huomiolle. Tutkielman rajaamista erityisesti automaation näkökulmaan voidaan perustella lisäksi sillä, ettei Suomen konttisatamien osalta juurikaan löydy kattavaa akateemista tutkimusta automaation hyödyntämisen nykytilan eikä automaation tulevaisuuden potentiaalain tai tulevaisuuden automaatioinvestointien osalta.

1.2.2 Maantieteellinen rajaus

Tämä pro gradu -tutkielma on rajattu tarkastelemaan automaatiota pääasiassa Suomen konttisatamien näkökulmasta. Tutkielman teoriaosuudessa tehdään kirjallisuuskatsauksen avulla laaja katsaus maailman suurimpien konttisatamien hyödyntämiin automaatio-tekniikoihin sekä automaation soveltamiseen konttisatamaympäristössä. Tutkielman teoriaosuuden jälkeen tutkitaan empiirisiin tutkimusmenetelmin Suomen konttisatamien automaation nykytilaa ja tulevaisuuden investointisuunnitelmia. Pro gradu -tutkielman rajaaminen tiettyyn maantieteelliseen alueeseen, tässä tapauksessa Suomeen, on perustelua, koska laajemman kansainvälisen vertailun tekeminen, esimerkiksi Itämeren alueen konttisatamien välillä, vaatisi huomattavasti laajempaa tutkimusaineistoa sekä enemmän tutkimusresursseja ja aikaa. Lisäksi Suomen konttisatamista on todennäköisesti helpommin kerättävissä relevanttia tutkimusaineistoa empiirisiin tutkimusmenetelmin.

Tämän lisäksi maantieteellinen rajausta tekee tutkielmasta sekä fokusoidumman että syvällisemmän mahdollistaen samalla yksityiskohtaisemman analyysin. Suomen konttisatamat toimivat lisäksi hyvänä case-esimerkkinä muiden pienten, erityisesti Itämeren alueella toimivien ja pääasiassa feeder-liikennettä palvelevien konttisatamien toiminnasta.

Suomen konttisatamien osalta tämä pro gradu -tutkielma on rajattu tarkastelemaan Suomen suurimpia konttisatamia, joihin lukeutuvat HaminaKotkan, Helsingin, Rauman, Hangon ja Oulun satamat. Tutkimuksen rajaaminen Suomen suurimpiin konttisatamiin on perusteltua siksi, että niiden kautta kulki vuonna 2023 noin 98 prosenttia Suomen konttiliikenteestä TEU-määrissä mitattuna (Tilastokeskus 2024). Automaation vaikutuksia ja tulevaisuuden potentiaalia Suomen konttisatamissa pyritään selvittämään satamayhtiöitä sekä satamaoperaattoreita haastattelemalla, jolloin on mahdollista saada erilaisia näkökulmia automaatioinvestointeihin sekä niiden vaikutuksiin.

1.2.3 Ajallinen rajausta

Tämän pro gradu -tutkielman teoriaosuudessa hyödynnettävässä tutkimuskirjallisuudessa on pyritty käyttämään mahdollisimman uutta akateemista kirjallisuutta. Etenkin automaatiota käsittelevä kirjallisuus on tuoretta, ja se on julkaistu pääasiassa 2020-luvun puolella. Teoriaosuudessa käytetty tilastoaineisto pyrkii hyödyntämään tutkimuksen tekohetkellä tuoreimpaa saatavilla olevaa dataa. Loppuvuonna 2024 toteutetut haastattelut tarjoavat mahdollisimman reaaliaikaisen ja ajantasaisen tilannekuvan Suomen konttisatamien automaation nykytilasta ja kehityssuunnista tutkimushetkellä. Konttisatamien automaation tulevaisuuden kehitykseltä osalta ajallista rajausta ei ole tehty, sillä esimerkiksi liian lyhyt aikahorisontti vaikeuttaisi kattavan tutkimusaineiston keräämistä ja lisäksi tulevaisuuden tarkka ennustaminen on tässä kontekstissa vaikeaa. Konttisatamien automaatio kehittyy jatkuvasti, joten keskittyminen uusimpaan tietoon varmistaa kuitenkin tutkimuksen ajankohtaisuuden ja käytännön hyödyn.

1.2.4 Käsitteelliset rajaukset

Konttisatama käsitteenä on laaja ja konttisatamaa tarkastellaankin tässä tutkielmassa kattavana kokonaisuutena. Konttisatama voidaan jakaa viiteen eri osaan, jotka ovat ankkuripaikka, satamalaituri, liikennöintialue, konttikenttä/varastointialue sekä terminaalien porttialue (Carlo ym. 2015). Konttiterminaalien kolme päätoiminta-alueita taas

ovat terminaalin laiturialueen toimintaan kuuluva alusten toiminta-alue sekä sisämaan toimintaan kuuluvat konttikentän toiminta-alue ja kuorma-autojen sekä junien toiminta-alue, joka kattaa myös terminaalin sisään- ja uloskäyntiportit (Steenken ym. 2004). Automaation hyödyntämistä tarkastellaan konttisatamassa siis aina satamalaiturilta konttiterminaalin porteille saakka, eikä tutkimus näin ollen rajoitu tarkastelemaan esimerkiksi pelkästään konttikentällä tai laituritoiminnoissa hyödynnettäviä automaatioteknologioita, osin siitä syystä, että pienemmissä konttisatamissa edellä mainituissa toiminnoissa hyödynnettävä automaatioteknologia on vielä kovin vähäistä.

Arkikielessä käsite ”haaste” (engl. *challenge*) on laajalle levinnyt ja se voi tarkoittaa useaa eri asiaa. Koska käsite ”haaste” ja sen eri johdannaiset esiintyvät tässä tutkielmassa useita kertoja, on syytä määritellä, mitä käsitteellä tarkoitetaan. Sanakirjojen mukaan haasteella tarkoitetaan jotain uutta ja vaativaa tilannetta, tehtävää tai ongelmaa, joka vaatii suuria ponnisteluja, kekseliäisyyttä sekä päättäväisyyttä sen ratkaisemiseksi (Collins Dictionary 2025; The Britannica Dictionary 2025). Tämän tutkielman kontekstissa haasteilla tarkoitetaan erityisesti automaatioteknologioiden implementointiin liittyviä tekijöitä, jotka voivat hidastaa, vaikeuttaa tai monimutkaistaa automaatioteknologioiden käyttöönottoa konttisatamissa. Haasteet voivat liittyä esimerkiksi taloudellisiin, operatiivisiin, teknisiin, lainsäädännöllisiin sekä inhimillisiin tekijöihin.

Haasteet ovat siis tekijöitä, jotka vaativat ratkaisua, mutta eivät välttämättä täysin estä automaatioinvestointien tekemistä. Näin ollen haasteet ovat helpommin ratkaistavissa kuin vastaavasti esteet. Käsitteellä ”este” (engl. *barrier*) tarkoitetaankin tämän tutkielman kontekstissa vielä haastetta vakavampaa tekijää, joka rajoittaa merkittävästi tai jopa estää automaatioinvestointien toteuttamisen kokonaan. Esteiden ylittäminen saattaa vaatia rakenteellisia ja lainsäädännöllisiä muutoksia tai niin valtavia investointeja, että niitä ei yksinkertaisesti ole mahdollista toteuttaa esimerkiksi nykyisillä resursseilla. Haasteiden ja esteiden välinen rajanveto on kuitenkin hankalaa, sillä organisaatiosta ja näkökulmasta riippuen toinen toimija voi nähdä tietyn asian tai tekijän haasteena, kun taas toinen näkee sen esteenä.

Haasteiden ja esteiden lisäksi tutkielmassa käsitellään laajasti automaatioinvestointien tuomia mahdollisuuksia ja hyötyjä. Kuten käsitteet ”haaste” ja ”este”, myös käsitteet ”mahdollisuudet” (engl. *opportunities*) ja ”hyödyt” (engl. *benefits*) ovat lähellä toisiaan, ja toisinaan niitä käytetäänkin arkikielessä ristiin. Tämän tutkielman kontekstissa

mahdollisuudet viittaavat enemmän automaatioinvestointien tuomiin potentiaaliin kehityssuuntiin sekä tulevaisuuden näkymiin. Mahdollisuuksilla voidaan viitata esimerkiksi siihen, mitä automaatioinvestointien avulla pyritään tulevaisuudessa tavoittelemaan, tai mitä niiden avulla voitaisiin mahdollisesti saavuttaa. Hyödyillä taas tarkoitetaan konkreettisia ja jokseenkin mitattavissa olevia positiivisia vaikutuksia, joita automaatioinvestointien avulla mitä todennäköisimmin saavutetaan.

1.3 Tutkimusongelma- ja kysymykset

Tutkimusongelman keskiössä on selvittää, millainen rooli automaatioteknologioilla on Suomen konttisatamien nykyisessä ja tulevassa toiminnassa, ja miten automaatio voi vastata operatiivisen tehokkuuden ja tuottavuuden, kustannustehokkuuden, ympäristöystävällisyyden ja turvallisuuden kehittämistarpeisiin ottaen huomioon näiden satamien kansainvälisessä vertailussa selkeästi pienemmät volyymit ja resurssirajoitteet. Tutkimuksen rajauksen yhteydessä luvussa 1.2 tuli ilmi, että akateeminen tutkimuskirjallisuus Suomen konttisatamien automaatiosta ja sen tulevaisuuden kehityksestä on erittäin niukkaa. Tämä tutkimus pyrkiikin osaltaan täyttämään tätä merkittävää tutkimusaukkoa sekä löytämään ratkaisun tutkimusongelmaan yhden päätutkimuskysymyksen avulla:

- Miten automaatiota voidaan hyödyntää Suomen konttisatamissa tulevaisuudessa?

Tutkimuskysymyksiin vastataan empiiristen tutkimusmenetelmien avulla. Koska varsinainen päätutkimuskysymys on laaja, pyritään siihen selvittämään vastaus päätutkimuskysymystä tarkentavien alatutkimuskysymysten avulla. Alatutkimuskysymykset (1–4) on johdettu jo olemassa olevasta tutkimuskirjallisuudesta ja ne on esitelty lyhyesti alla:

- 1) Miten automaatiota hyödynnetään Suomen konttisatamissa tällä hetkellä?

Ensimmäisen alatutkimuskysymyksen avulla selvitetään automaation nykytilaa ja automaatioteknologioiden hyödyntämisen tasoa Suomen konttisatamissa. Maailman johtavissa älykkäissä konttisatamissa on jo laajasti automatisoitu esimerkiksi porttitoiminnot (Chao & Lin 2017) sekä konttien horisontaalinen ja vertikaalinen kuljetus. Lisäksi etäohjausta ja osittaista automaatiota hyödynnetään laiturinostureiden toiminnassa. (Rodrique & Notteboom 2021; Knatz ym. 2022.) Automaation ajureina on yleisesti tunnistettu esimerkiksi terminaalin tuottavuuden lisääminen (Notteboom ym. 2022), kustannussäästö-potentiaali sekä tilan ja alueiden käytön tehostaminen (Knatz ym. 2023).

2) Miten automaatioon investoidaan Suomen konttisatamissa tulevaisuudessa?

Toisen alatutkimuskysymyksen avulla tutkitaan, minkälaisia automaatioinvestointeja Suomen konttisatamissa on suunnitteilla tulevaisuudessa sekä selvitetään, minkälaisella aikataululla suunnitellut automaatioinvestoinnit voitaisiin toteuttaa. Suomen konttisatamat ovat automaatioteknologian hyödyntämisessä vielä perässä maailman johtavia konttisatamia, joten tulevaisuuden kehitys on todennäköisesti kohti älykkäissä konttisatamissa jo tähän mennessä automatisoituja toimintoja. Lisäksi tekoälyn, koneoppimisen ja IoT:n tekniikoita voidaan hyödyntää esimerkiksi rahtivirtojen ennustamiseen, tilannekuvan jakamiseen, terminaalitoimintojen optimointiin (Chu ym. 2018).

3) Mitkä ovat automaatioteknologioiden Suomen konttisatamille tuomat mahdollisuudet?

Kolmannen alatutkimuskysymyksen avulla selvitetään, millaisia mahdollisuuksia automaatioinvestoinnit ja -teknologiat tuovat Suomen konttisatamille eli toisin sanoen, mitkä ovat automaatioin tuomat hyödyt ja vaikutukset. Esimerkiksi Konin ym. (2020), Rodriguen ja Notteboomin (2021) ja Knatzin ym. (2023) tutkimusten mukaan konttiterminaalien automatisoinnin on havaittu parantavan konttiterminaalien operatiivista tehokkuutta ja tuottavuutta, vähentäneen erityisesti työvoimakustannuksia ja konttiterminaalitoiminnasta aiheutuvia hiilidioksidipäästöjä sekä parantaneen konttiterminaalialueen turvallisuutta, kuten esimerkiksi työturvallisuutta.

4) Mitkä ovat automaatioteknologioiden Suomen konttisatamille tuomat haasteet sekä mahdolliset esteet automaatioinvestointien toteuttamiselle?

Neljännän alatutkimuskysymyksen avulla tutkitaan, millaisia haasteita automaatioteknologioiden implementoiminen aiheuttaa. Lisäksi pyritään löytämään syytä sille, miksi automaatioteknologioihin ei välttämättä investoida, vaikka niiden mukanaan tuomat potentiaaliset hyödyt olisivat tiedossa. Neljännän alatutkimuskysymyksen avulla pyritään siis toisin sanoen selvittämään, mitkä ovat mahdolliset esteet automaatioinvestointien toteuttamiselle. Merkittäviä akateemisissa tutkimuskirjallisuudessa tunnistettuja konttiterminaalien automatisoinnin haasteita ovat esimerkiksi automatisointiprosessin yhteensovittaminen jo olemassa olevien toimintojen kanssa (Notteboom ym. 2022), huomattavat alkupääomasijoitukset (Behdani 2023), ammattiliittojen – ja yhdistysten vastustus sekä häiriöt

nykyisissä työsuhteissa (Martín-Soberón ym. 2014) sekä kyberturvallisuushkat (de la Peña Zarzuelo 2021).

1.4 Tutkimuksen rakenne

Tämä pro gradu -tutkielma koostuu seitsemästä osasta. Tutkielma lähtee liikkeelle johdantoluvusta, jossa esitettiin tutkimuksen tausta ja tavoitteet sekä asetettiin tutkimuksen rajoitukset. Tämän lisäksi johdantoluvussa määriteltiin tutkimusongelma sekä päätutkimuskysymys ja siitä tutkimuskirjallisuuden perusteella johdetut neljä alatutkimuskysymystä.

Luvut 2, 3 ja 4 muodostavat tutkimuksen teoriaosuuden. Luvussa 2 käsitellään tutkimuskirjallisuuden avulla lyhyesti merikuljetuksia yleisellä tasolla ja samalla tehdään lyhyt katsaus kontistumiseen sekä maailmanlaajuisen konttiliikenteen kehitykseen. Luvussa 2 esitellään myös konttisatamajärjestelmä ja sen toimintaperiaate, konttiterminaalin keskeisimmät lastinkäsittelylaitteet sekä satamien tärkeimmät sidosryhmät. Luvun 2 lopuksi tehdään katsaus Suomen konttisatamien ohessa myös maailman suurimpiin konttisatamiin.

Luvussa 3 määritellään kirjallisuuskatsauksen avulla tutkimuksen kannalta olennaiset teollisuus 4.0:n, satama 4.0:n ja älykkään sataman käsitteet. Tämän lisäksi luvussa 3 esitellään yksityiskohtaisesti automaation mahdollistavina teknologioina toimivat tekoäly ja koneoppiminen sekä IoT ja näiden tyypilliset sovelluskohteet älykkäässä konttisatamaympäristössä.

Luvussa 4 analysoidaan tutkimuskirjallisuuden avulla laajasti automaatiota kansainvälisessä konttisatamakontekstissa. Luvun 4 aluksi esitellään automaation määritelmä. Tämän jälkeen käsitellään konttiterminaalien automatisointiasteen kehitystä sekä eri konttiterminaalin eri toiminta-alueiden automatisointia käytännössä. Lisäksi luvussa 4 analysoidaan automaatioteknologioiden merkittävimmät ajurit sekä automaation konttitermiinaaleille tuomat hyödyt. Luvun 4 lopuksi tarkastellaan automaatioteknologioiden konttisatamille tuomia haasteita.

Luku 5 käsittelee tutkimuksen metodologiaa eli sitä, millaisin tutkimusmenetelmin ja keinoin tutkimustulokset saadaan sekä miten empiirinen tutkimus toteutetaan. Luku 5 lähtee liikkeelle tutkimuksessa käytetyn tutkimusmenetelmän kuvauksella. Sen jälkeen esitellään tutkimuksessa käytettävän empiirisen aineiston hankinta- ja analysointimenetelmät.

Luvun 5 lopuksi suoritetaan tutkimuksen laadun arviointi tutkimuksen luotettavuuden varmistamiseksi.

Luku 6 kattaa varsinaisten empiiristen tutkimustulosten analysoinnin, jonka yhteydessä pyritään vastaamaan tutkimuskysymyksiin. Luku 7 taas lähtee liikkeelle tutkimustulosten tulkinnan, arvioinnin ja analysoinnin avulla tehtyjen keskeisten johtopäätösten esittämisellä, jolloin pyritään löytämään selkeä yhteys teorian ja empirian välillä. Luvun 7 lopuksi pohditaan tutkimuksen teoreettista ja käytännön kontribuutiota sekä analysoidaan tutkimuksen rajoituksia ja esitellään potentiaaliset jatkotutkimusehdotukset.

2 Merikuljetukset ovat maailmantalouden selkäranka

2.1 Lyhyt yleiskatsaus merikuljetuksiin

Merikuljetukset ovat yksi tärkeimmistä kuljetusmuodoista (Rodrique ym. 2013). Wilsmeier ja Monios (2020) määrittelevät merikuljetukset kansainväliseksi liiketoiminnaksi, joka yhdistää ympäri maailmaa pääasiassa rannikoilla sijaitsevia satamia yhdeksi isoksi meriliikennepalveluiden verkoksi, joiden välillä kuljetetaan rahtia ja matkustajia. Rodriquen (2020) mukaan merikuljetukset taas ovat rahdin ja matkustajien kuljettamista vesimassojen yli valtamerillä, rannikkoalueilla sekä joissa. Rodrique ym. (2013) mukaan merikuljetukset keskittyvät pääasiassa rahtiliikenteeseen, kun taas matkustajien kuljettamisen osuus meriteitse on vain marginaalinen pitkillä etäisyyksillä.

Merikuljetuksilla on ollut keskeinen rooli sekä taloudellisessa kehityksessä että talouden toiminnassa jo usean tuhannen vuoden ajan. On arvioitu, että merikuljetusten osuus maailman tavarakaupasta on kokonaisuudessaan noin 90 prosenttia (Ducruet 2020; OECD 2024). Merikuljetusten voidaan näin ollen todeta muodostavan kansainvälisen kaupan ja globalisaation selkärangan niiden ollessa kustannustehokkain tapa kuljettaa suuria määriä rahtia pitkiäkin matkoja (Rodrique ym. 2013). Merikuljetusten systemaattista kasvua, etenkin rahtiliikenteen osalta, ovat vauhdittaneet muun muassa globalisaatio, teknologinen kehitys, mittakaavaedut sekä energia- ja mineraalilastien määrän kasvu, joka on johdunut Pohjois-Amerikan, Euroopan, Kiinan ja Japanin teollistuneiden talouksien kasvavasta kysynnästä (Rodrique ym. 2013).

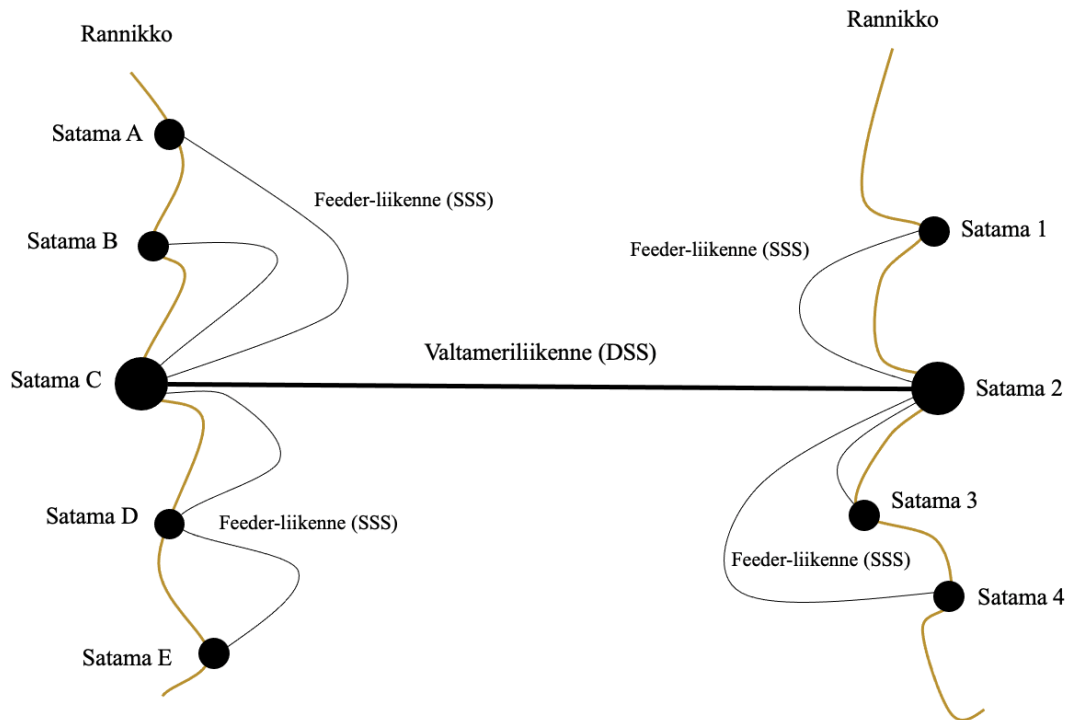
Man (2020) mukaan merikuljetusten kysyntä riippuu toimitettujen tavaroiden kysynnästä. Tämä kysyntä taas on johdettu kaupasta. Merikuljetukset ovat siis tavallaan eräänlainen välityspalvelu, jonka tarkoituksena on tuottaa taloudellista lisäarvoa (OECD 2024). Koska merikuljetusten kysyntä on johdettua kysyntää, on kysyntä voimakkaasti riippuvaista globaalista talouskehityksestä sekä muiden toimialojen kehityksestä (Luo ym. 2009). Myös muut toimialat, kuten eri teollisuuden alat, ovat riippuvaisia merikuljetuksista, sillä useat raaka-aineet kuljetetaan pääasiassa meriteitse. Merikuljetuksilla on siis merkittävä vaikutus kansainvälisen kaupan kehittymiseen, mikä edistää talouskasvua ja luo työpaikkoja. (Fratila ym. 2021.) OECD:n (2024) mukaan merikuljetusten kysynnän odotetaan kolminkertaistuvan vuoteen 2050 mennessä maailmanlaajuisen rahtiliikenteen kysynnän kasvaessa.

Xun ym. (2015) mukaan merikuljetukset ovat ympäristöystävällisin kuljetusmuoto ja on arvioitu, että merikuljetukset ovat globaalissa mittakaavassa vastuussa noin kolmesta prosentista hiilidioksidipäästöistä. Viime vuosikymmenen aikana merikuljetuksissa on keskitytty yhä enemmän alusten ja satamien energiatehokkuuden parantamiseen. Vaikka aluksissa pyritään yhä enenevässä määrin käyttämään polttoaineena nesteytettyä maakaasua eli LNG:tä ympäristövaikutusten alentamiseksi, aiheuttavat merikuljetukset silti huomattavan määrän hiilidioksidipäästöjä. Huomio kiinnittyy etenkin konttisatamien toimintaan, sillä konttikuljetusten määrä on viime vuosikymmeninä kasvanut volyymin jatkaessa alati kasvuaan. (Wilsmeier & Monios 2020.) Konttikuljetusten volyymin nopean kasvun sekä konttisatamatoimintojen lisääntymisen seurauksena merikuljetusten kokonaihiilidioksidipäästöt ovat näin ollen lisääntyneet. Konttisatamassa käytettävien uusien teknologisten innovaatioiden sekä digitalisaation, niin sanottujen älykkäiden satamatoimintojen (engl. *smart port operations*), avulla voidaan parantaa paitsi konttisatamien ympäristöystävällisyyttä, mutta myös konttisatamien tehokkuutta ja turvallisuutta. (Pham 2023.)

Merikuljetuksissa käytetään useita erilaisia alustyyppisiä, joista jokaisella on omat erityispiirteensä sekä käyttötarkoituksensa kuljettavan lastin mukaan. Paixão Casacan ja Marlow'n (2009) mukaan yleisimmät alustyyppit voidaan jaotella niillä kuljetetun lastin mukaan konttialuksiin, (engl. *container ships*), irtolasti/bulkialuksiin (engl. *bulk carriers*), ro-ro-aluksiin (engl. *roll on – roll off*), tankkereihin ja säiliöaluksiin (engl. *tanker ships*). Rahdin kuljetukseen tarkoitettujen alusten lisäksi on erikseen henkilökuljetuksiin erikoistuneita matkustaja-aluksia (engl. *passenger ships*).

Stopfordin (2009) mukaan meriteitse käytävää kauppaa hallitsevat kolme merkittävää talouskeskusta: Pohjois-Amerikka, Eurooppa ja (Itä-)Aasia. Merikuljetusten ydinreitit palvelevat tärkeimpiä taloudellisia keskuksia sekä suuria markkinoita. Toissijaiset reitit taas ovat enimmäkseen pienempien, paikallisten markkinoiden välisiä yhteyksiä. (Notteboom ym. 2022.) Valtameriliikenteellä (engl. *deep sea shipping, DSS*) tarkoitetaan mannerten välistä, pitkien etäisyyksien konttiliikennettä, jota operoidaan suurilla valtamerialuksilla tärkeimpien konttisatamien välillä. Lyhyen matkan meriliikenne (engl. *short sea shipping, SSS*) taas on tavaroiden kuljetusta meriteitse suhteellisen lyhyillä etäisyyksillä. SSS-liikenne kattaa kansallisen ja kansainvälisen meriliikenteen sekä feeder- eli syöttöliikennepalvelut rannikkoa ja jokia pitkin. (Gouvenal ym. 2010.) Brooks ym. (2014) määrittelevät SSS-liikenteen yksinkertaisesti meriliikennepalveluiksi, jotka eivät ylitä valtameriä.

Feeder-varustamot operoivat syöttöliikennettä suurista valtamerisatamista pienempiin satamiin. Feeder-liikenteen varustamot ovat tavallisesti joko valtamerivarustamoiden tytäryhtiöitä tai täysin itsenäisiä, feeder-liikenteeseen erikoistuneita varustamoja. (Ojala ym. 2021.) Alla olevassa kuviossa 1 on havainnollistettu DSS- ja SSS-liikenteen toiminta.



Kuvio 1 Valtameri- ja feeder-liikenne kahden alueen välillä (Talley 2009)

Konttialukset liikennöivät yleensä aikataulun mukaisesti useamman kuin kahden sataman välillä (Ojala ym. 2025). Suuret valtamerialukset kuljettavat kontteja valtameren yli kahden pääsatamien välillä (satamat C ja 2). Näistä pääsatamista pienemmät, feeder-liikenteen konttialukset, kuljettavat kontit edelleen useisiin pienempiin konttisatamiin ennalta määrätyn aikataulun ja reitin mukaisesti. Feeder-alukset pysähtyvät reitillään tavallisesti useammassa pienemmässä konttisatamassa ennen kuin palaavat takaisin pääsatamaan, joita kutsutaan niin ikään hubeiksi.

2.2 Kontistuminen ja konttiliikenteen kehitys

Yhdysvaltalaisen liikemiehen Malcolm McLeanin ensimmäisen konttialuksen, *Ideal X:n*, vesillelasku vuonna 1956 merkitsi konttien käytön alkua (Talley 2009). Kontistumisen (engl. *containerization*) seurauksena konttialukset alkoivat yleistyä nopeasti 1960- ja 1970-luvuilla (Manning 2013). Kontistuminen tarkoittaa standardikokoisten kuljetuskonttien laajamittaista käyttöönottoa sekä merikuljetuksissa että sisämaan tavaraliikenne-

järjestelmässä. Sitä voidaan pitää eräänlaisena nykyaikaisen globalisaation moottorina, sillä mikään muu kuljetustapa kuin standardikokoisen kuljetuskontin käyttöönotto ei ole vaikuttanut globalisaatioon yhtä voimakkaasti. (Rodrique ym. 2013.)

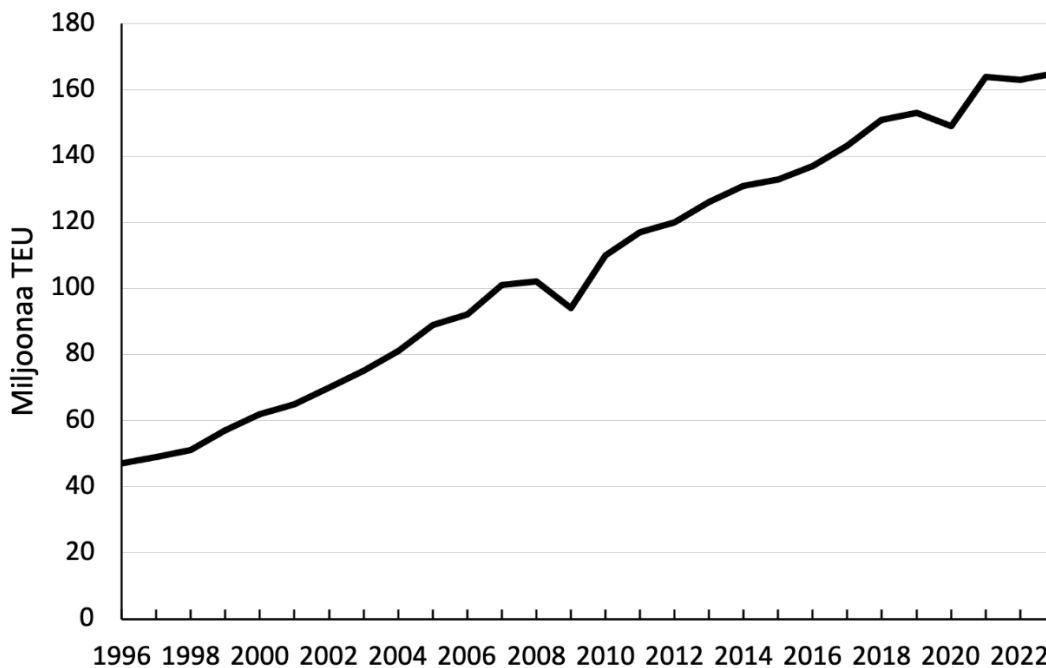
Perinteisesti käytetyt standardikokoiset kuljetuskontit ovat kooltaan 20 jalkaa (engl. *Twenty-foot Equivalent Unit, TEU*) tai 40 jalkaa (engl. *Forty-foot Equivalent Unit, FEU*) (Rodrique & Notteboom 2009). Vaikka suurin osa konteista on joko TEU- tai FEU-kontteja, käytetään niiden ohella myös 30, 45, tai 53 jalan erikoiskontteja, jotka ovat hie-man TEU- ja FEU-kontteja korkeampia (Rodrique ym. 2013). Muita erikoiskontteja ovat esimerkiksi termokontit kylmäkuljetukseen sekä säiliökontit nesteiden kuljetukseen (Notteboom ym. 2022). TEU-yksikön avulla ilmoitetaan tavallisesti sekä konttialusten kuljetuskapasiteetti että konttisatamien rahtivolyymit.

Kontistumisen seurauksena alkunsa saaneen intermodalismin myötä merikuljetusten integraatio sataman takamaan eri kuljetusmuotojen, kuten maantie- ja rautatiekuljetusten, välillä kehittyi. Crainic ja Kim (2007) määrittelevät intermodaaliset rahtikuljetukset erääksi multimodaalikuljetustyypiksi, jossa kuorma kuljetetaan lähtöpaikasta määränpää-hänsä samassa kuljetusyksikössä eikä kuormaa pureta välillä kuljetusmuotoa vaihdetta-essa. Standardikokoinen kuljetuskontti voidaan siirtää suoraan konttialuksesta kuorma-auton tai vaihtoehtoisesti junan kyytiin. Kontistuminen on tehostanut etenkin merikulje-tuksia, koska standardikokoiset kontit voidaan lastata tiiviisti konttialuksen kyytiin, jol-loin koko sen lastinkuljetuskapasiteetti saadaan tehokkaasti käyttöön. Kontistuminen on mahdollistanut myös nopeamman ja tehokkaamman lastauksen ja purkamisen, sillä stan-dardikokoiset kontit saadaan helposti lastattua laivaan tai purettua laivasta nostureiden avulla. Tämän seurauksena alusten satamassaoloaika on vähentynyt merkittävästi. Kon-tistumisesta on hyötynyt myös muut kuljetusmuodot, kuten maantie- ja rautatiekuljetuk-set, juuri lastinkäsittelyn helpottumisen seurauksena. (Rodrique ym. 2013.) Donovanin (2004) mukaan kontistumisen seurauksena myös kuljetuskustannukset ovat vähentyneet merkittävästi.

Kontistumisen seurauksena myös vahinkojen määrä, kuten lastin vaurioituminen kulje-tuksen aikana, on vähentynyt. Samoin myös vahinkoihin liittyvien vakuutusmaksujen määrät ovat pienentyneet. Globaalien konttialus- ja satamaverkkojen kehittyminen on mahdollistanut muutokset talous- ja kuljetusmaantieteessä, sillä ne vähensivät merkittä-västi merikuljetusten kustannuksia ja etäisyyksiä eri puolilla maailmaa sijaitsevien tuo-

tanto- ja kulutuskeskusten välillä. Konttialusliikenteestä tuli myös olennainen tekijä maailmanlaajuisten toimitusketjukäytäntöjen muokkaamisessa, joka on mahdollistanut globalisaation keskeisten ajureiden, monikansallisten yritysten, globaalit hankintastrategiat sekä maailmanlaajuisten tuotantoverkkojen kehittämisen. (Notteboom ym. 2022.)

Maa­ilman­laajuinen konttiliikenne on kehittynyt nopeasti kontistumisen seurauksena. Eri­tyisen nopeaa kehitys on ollut 1990-luvun lopulta alkaen. Alla oleva kuvio 2 havain­nol­listaa globaalin konttiliikenteen kehitystä vuodesta 1996 vuoteen 2023. Vuonna 2023 konttiliikenteen kokonaisvolyymi oli noin 165 miljoonaa TEU ja vuodesta 2024 alkaen konttiliikenteen volyymin vuotuisen kasvun oletetaan olevan noin 3 prosenttia vuodessa. Vastaavasti koko maailman merikuljetusten volyymin odotetaan kasvavan noin 2,1 prosenttia vuodessa vuosien 2024–2028 välillä, joka on kuitenkin alle kolmen viime vuosikymmenen keskimääräisen 3 prosentin historiallisen kasvuvauhdin. (UNCTAD 2021; 2023.)



Kuvio 2 Maailmanlaajuisen konttiliikenteen kehitys 1996–2023 (UNCTAD 2021; UNCTAD 2023)
Kuten kuvio­ista 2 huomataan, maailmanlaajuisen konttiliikenteen volyymin kehitys on ollut alusta alkaen noususuhteista. Ainoat selkeästi erottuvat konttiliikenteen volyymin kasvun vähentymiset ovat seurausta vuoden 2008 finanssikriisistä ja sitä seuranneesta lamasta sekä vuonna 2020 koronapandemian aiheuttamasta kysynnän äkillisestä laskusta ja tilapäisestä kaupankäynnin supistumisesta. Konttiliikenteen maailmanlaajuinen kehitys

ja huomattava volyymin kasvu on lisännyt kysyntää megaluokan konttialusten liikennöinnille, joiden kapasiteetti on noin 20 000 TEU tai enemmän. (Yu ym. 2022.)

2.3 Konttisatamaympäristö

2.3.1 Konttisatamat ja konttiterminaalien toimintaperiaate

Talley (2009) mukaan satama on taloudellinen kokonaisuus, jossa tapahtuu rahdin ja matkustajien siirtäminen mereltä rannikolle tai päinvastoin. Näin ollen satamat toimivat meri- ja maaliikenteen risteyskohtana. Ne sijaitsevat tyypillisesti kaupunkien lähetyvillä meren rannalla, hyvien kulkuyhteyksien päässä. Satama voi olla tyypiltään rahtisatama, matkustajasatama tai näiden yhdistelmä. Rahtisatamia kuvataan sen mukaan, minkä tyyppistä rahtia niissä käsitellään. Rahtisatamassa voi kuitenkin olla myös useampien erityyppien käsittelyyn tarkoitettuja terminaaleja. Silloin kutakin terminaalia kuvataan käsitellyn rahdin tyyppin mukaan. Konttisatamassa voi esimerkiksi olla konttiterminaal(e)n lisäksi myös irtolastin, ro-ro-lastin tai öljyn käsittelyyn erikoistuneet terminaalit. (Talley 2009.) Osassa rahtisatamia on omat rahdinkäsittelylaitteet, kuten nosturit konttien lastaamiseen ja purkamiseen tai pumpput öljyn lastaamiseksi. Mangan ym. (2008) mukaan satama on niin kutsuttu yleissatama, jos siellä on infrastruktuuria useamman eri rahtikategorian käsittelemiseksi.

Konttisatamien kehittyminen 1960-luvulla kontistumisen seurauksena loi täysin uuden aikakauden satamien kehittämiseen ja konttiterminaalien suunnitteluun (Notteboom ym. 2022). Konttisatama on paikka, jossa konttialuksilta vastaanotetut muut kuin jälleenlaivauskontit siirretään takamaan liikenteenharjoittajille, kuten kuorma-autoihin, juniin tai sisävesi- ja rannikkoliikenteen aluksiin. Jälleenlaivauskontit siirretään konttisatamassa suoraan aluksesta toiseen tai konttikentälle odottamaan niille varattua kuljetusta. (Talley 2009.) Käsitteet konttisatama (engl. *container port*) ja konttiterminaal(e) (engl. *container terminal*) ovat lähellä toisiaan, mutta niiden merkitys on hieman eri. Siksi on syytä selvittää, mikä on näiden kahden käsitteen ero. Konttisatama on laajempi käsite, joka viittaa koko satama-alueeseen, ja joka on varustettu tarvittavilla lastinkäsittelylaitteilla konttien lastaamiseen, purkamiseen ja varastointiin. Konttisatama koostuu siis yhdestä tai useammasta konttiterminaalista, joita operoivat pääosin eri satamaoperaattorit, jotka kilpailevat keskenään. Konttiterminaal(e) taas on pääasiassa yhden satamaoperaattorin hallinnassa oleva osa konttisatamaa, jossa se operoi konttiliikennettä. (Talley 2009.) Esimerkiksi

Hampurin konttisatamassa operoi vuonna 2019 yhdeksän eri satamaoperaattoria (Port Technology 2019).

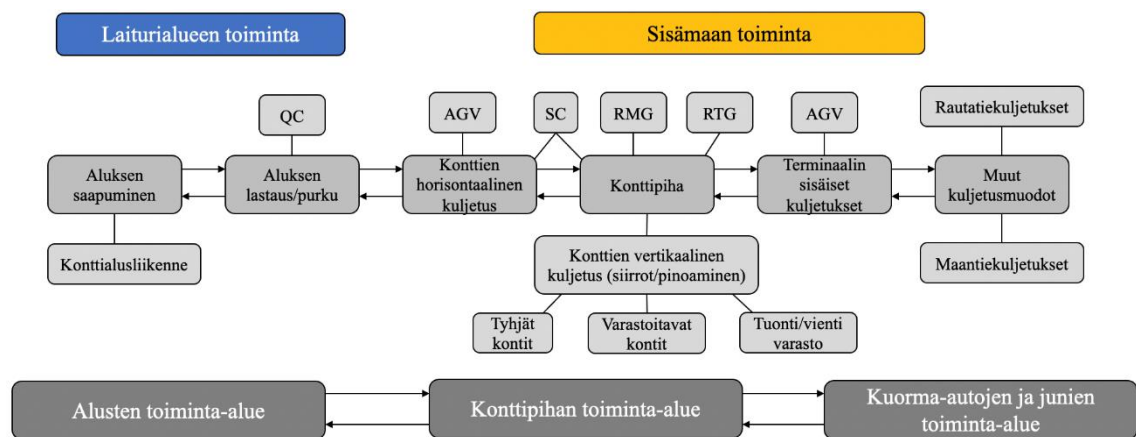
Carlson ym. (2015) mukaan konttiterminali koostuu tavallisesti viidestä alueesta, jotka ovat ankkuripaikka (engl. *berth*), satamalaituri (engl. *quay*), liikennöintialue (engl. *transportation*), konttikenttä/varastointialue (engl. *container yard/storage yard*) sekä terminaalin porttialue (engl. *terminal gate*). Konttisataman etumaahan kuuluvat ankkuripaikka ja satamalaituri. Ankkuripaikka on satamalaiturin vieressä oleva vesialue, jossa alus odottaa pääsyä satamalaituriin. Koska laituripaikassa voi yleensä olla vain yksi alus kerrallaan, alukset joutuvat yleensä odottamaan ankkurissa vapaata paikkaa satamalaiturissa. Satamalaituri taas on satamassa oleva kiinteä rakennelma, johon alukset kiinnittyvät lastin purkamista ja/tai lastaamista varten. (Talley 2009.)

Konttikenttä sekä porttialue kuuluvat konttisataman takamaahan. Konttikenttä koostuu erilaisista rakennuksista, joissa harjoitetaan hallinnollisia toimintoja sekä konttien lastausta ja purkamista, niin kutsuttua kontitusta. Lisäksi konttikentällä on teitä, väyliä ja kiskoja, joita pitkin kontteja kuljetetaan erilaisilla nostureilla ja muilla konttien siirtelyyn ja käsittelyyn tarkoitetuilla laitteilla sekä kuorma-autoilla. Konttikenttä käsittää myös maa-alueen konttien tilapäistä varastointia varten. Konttisataman takamaan porttien kautta kontit saapuvat maateitse satamaan tai lähtevät satamasta maateitse. Konttisatamaan saapuvat ja sieltä lähtevät kontit tarkastetaan porteilla asianmukaisten asiakirjojen ja turvallisuusvaatimusten osalta. Porteilla tarkistetaan myös asiaankuuluvat tiedot kuorma-autojen ja junien liikkeistä, kuten mitä niillä on rahtina tai mihin alukseen niiden kuljettamat kontit on tarkoitus lastata. Satamissa on yleensä erikseen portit maantie- ja rautatieliikenteelle. (Steenken ym. 2004; Talley 2009.) Liikennöintialue yhdistää konttisataman etu- ja takamaan. Tiivistäen voidaan todeta, että konttiterminalit hallitsevat siis tavaroiden ja materiaalien kulkua sataman etu- ja takamaan välillä (Heiling & Voß 2017).

Steenken ym. (2004) määrittelevät tutkimuksessaan konttiterminalin kolme päätoiminta-alueita. Alusten toiminta-alueella (engl. *ship operation area*) laiturinosturit operoivat aluksesta maihin siirtoja satamalaiturilla tai toisinpäin. Konttikentän toiminta-alueella (engl. *container yard operation area*) kontteja taas säilötään tilapäisesti ja siirretään konttikentän lastinkäsittelylaitteiden avulla. Kolmas päätoiminta-alue on kuorma-autojen ja junien toiminta-alue (engl. *truck and train operation area*), jossa kuorma-autot ja junat

noutavat ja luovuttavat terminaaliin saapuvat tai sieltä lähtevät kontit terminaalin portteilla.

Steenkenin ym. (2004) mukaan konttiterminalleja voidaan kuvata avoimina materiaali-virtajärjestelminä, joilla on kaksi ulkoista rajapintaa. Merenpuoleista rajapintaa kutsutaan laituri-toiminnaksi (engl. *quayside*), jossa kontit lastataan ja puretaan konttialuksista. Sisämaantoimintaa (engl. *landside*) taas on konttien lastaaminen kuorma-autoihin ja juniin tai purkaminen kuorma-autoista ja juniista. Sisämaantoiminta käsittää myös konttien varastoinnin. Konttiterminaalin toimintaperiaate on siis kaksisuuntainen. Alla oleva kuvio 3 havainnollistaa pelkistetysti konttiterminaalin kaksisuuntaista toimintaperiaatetta sekä kolmen päätoiminta-alueen välistä vuorovaikutusta. Lisäksi kuvioon 3 on merkitty kussakin prosessin vaiheessa hyödynnettävät lastinkäsittelylaitteet, joita tarkastellaan myöhemmin luvussa 2.3.2.



Kuvio 3 Konttiterminaalin toimintaperiaate ja päätoiminta-alueet (Vis & de Koster 2003; Steenken ym. 2004)

Konttialuksen saavuttua satamaan se ohjataan laituriin, joka on yleensä varustettu konttien purkamista ja lastaamista varten tarkoitetuilla nostureilla. Kun kontit on purettu aluksen kyydistä, ne kuljetetaan liikennöintialueen läpi konttien varastointia varten tarkoitettulle konttikentälle ja pinotaan sen mukaan, jäävätkö kontit varastoon vai siirretäänkö ne eteenpäin muihin kuljetusmuotoihin. Maanteitse tai rautateitse terminaaliin saapuvat kontit käsitellään takamaalla kuorma-autojen ja junien toiminta-alueilla ja myös nämä kontit kuljetetaan konttien käsittelylaitteiden avulla konttikentällä oleviin varastoihin. (Vis & de Koster 2003; Steenken ym. 2004.)

2.3.2 Konttiterminaalien lastinkäsittelylaitteet

Konttiterminaalissa on useita erilaisia konttien käsittelyyn ja niiden kuljettamiseen tarkoitettuja koneita ja laitteita, joista osa toimii täysin automaattisesti ja osaan taas tarvitaan ihmisen kontrollia sekä valvontaa. Konttiterminaalissa käytetään erityyppisiä lastinkäsittelylaitteita esimerkiksi konttien siirtämiseen aluksesta toiseen tai kuorma-autojen ja junien kyytiin. Erilaisia lastinkäsittelylaitteita käytetään myös konttien kuljettamiseen, siirtämiseen ja pinoamiseen konttikentällä sekä varastoinnin yhteydessä. (Vis & de Koster 2003.) Edellä olevassa kuviossa 3 esiteltiin konttiterminaalien toimintaprosessin yhteydessä, mitä lastinkäsittelylaitteita kussakin konttiterminaalien toimintaprosessin vaiheessa tavallisesti hyödynnetään. Heilingin & Voß'n (2017) mukaan konttien käsittelyyn konttikentällä on kahdenlaisia laitteita. Näitä ovat konttien vertikaaliseen kuljetukseen eli konttikentällä konttien nostamiseen ja pinoamiseen tarkoitetut laitteet sekä suurimmaksi osaksi satamalaiturin ja konttikentän välillä konttien horisontaaliseen kuljetukseen tarkoitetut laitteet. Konttien vertikaaliseen ja horisontaaliseen kuljetukseen käytettävien koneiden ja laitteiden lisäksi satamalaiturilla operoivat laiturinosturit (engl. *quay crane*, *QC*) ovat keskeisiä konttisataman lastinkäsittelylaitteita.

Kun konttialus on kiinnittynyt laituriin, aluksen koosta sekä konttiterminaalien lastinkäsittelylaitteiden resursseista riippuen yhtä tai useampaa laiturinosturia käytetään konttien nostamiseen aluksesta laiturille tai päinvastoin (Talley 2009). Laiturinosturia voidaan kutsua myös STS-nosturiksi (engl. *ship-to-shore gantry crane*, *STS*). STS-nosturit ovat kooltaan suuria, keskimäärin noin 110 metriä pitkiä, 30 metriä leveitä ja 70 metriä korkeita nostureita. (Li ym. 2022.) Tyypillisen laiturinosturin kuva löytyy tämän tutkielman liitteestä 1. Laiturinosturit kulkevat yleensä sataman laiturissa olevia kiskoja pitkin, mutta joskus myös omien pyörien avulla. Ne nostavat kontit aluksen ruumasta tai kannelta ja laskevat kontit terminaalien sisäisiin kuljetusajoneuvoihin, kuten AGV-ajoneuvoihin, jotka kuljettavat kontit laiturialueelta konttikentälle. Kooltaan pienissä konttisatamissa laiturinostureiden avulla voidaan joskus nostaa kontit myös suoraan konttikentälle. (Talley 2009.) Konttialuksen purkamiseen ja lastaamiseen käytettyjen nostureiden määrä on strateginen päätös, ja ne ovatkin näin ollen yleensä eräänlaisia konttiterminaalien pullonkaulatoimintoja (Chargui ym. 2021).

Konttien horisontaaliseen kuljetukseen konttiterminaalien alueella käytetään pääasiassa AGV-ajoneuvoja sekä perävaunullisia tai moniperävaunullisia terminaalitraktoreita

(engl. *terminal tractor/yard truck, YT*). AGV-ajoneuvoja käytetään suurissa, laajasti automatisoiduissa konttiterminalleissa kuljettamaan kontteja itsenäisesti ilman kuljettajaa. AGV-ajoneuvot ovat robotteja, jotka pystyvät kulkemaan terminaalin sisäisessä ti verkossa, joka koostuu maastossa olevista antureista tai transpondereista, jotka ohjaavat AGV-ajoneuvojen sijaintia. AGV:t ovat varustettu myös infrapuna-antureilla, jotka havaitsevat mahdolliset ajoneuvon eteen tulevat esteet. (Steenken ym. 2004.) AGV-ajoneuvot voivat tavallisesti kuljettaa joko yhden FEU-kontin tai kaksi TEU-konttia. Kuva AGV-ajoneuvosta löytyy tämän tutkielman liitteestä 2. Terminaalitraktoreiden vetämien perävaunu- ja moniperävaunuyhdistelmien avulla voidaan kuljettaa useampi kontti kerralla riippuen trailereiden määrästä ja kuljettavien konttien koosta. Koska terminaalitraktori ei pysty itse nostamaan kontteja, vaatii se jonkin toisen kontinkäsittelylaitteen, kuten esimerkiksi yläkuormaajan tai konttikurottajan lastaamaan kontin terminaalitraktorin kyytiin tai purkamaan kontin terminaalitraktorin kyydistä. (Talley 2009.) Suomessa terminaalitraktoreita kutsutaan myös vetomestareiksi ja niitä käytetään esimerkiksi konttien siirtämiseen laiturinosturilta konttikentän varastointialueelle. Kuva terminaalitraktorista ja sen vetämistä perävaunuista löytyy tämän tutkielman liitteestä 3.

Kun kontit on kuljetettu konttikentälle AGV:n tai terminaalitraktorin ja perävaunujen avulla, käytetään lukkitrukkia (engl. *straddle carrier, SC*), yläkuormaajaa (engl. *top loader*) tai konttikurottajaa (engl. *reach stacker*) konttien vertikaaliseen kuljetukseen eli käytännössä konttien pinoamiseen konttikentällä, konttien poimimiseen pinoista sekä uudelleen sijoittamiseen pinoissa. Lukkitrulli on tähän tarkoitukseen käytetyin. Se on kumipyöräinen ajoneuvo, joka pystyy nostamaan kontteja pinoihin ja kuljettamaan niitä konttiterminaalin eri paikkoihin tai noutamaan konttiterminaalin eri paikoista ilman lisälaitteita. (Talley 2009.) Kuva lukkitrukista löytyy tämän tutkielman liitteestä 4. Kooltaan pienemmissä konttisatamissa lukkia käytetään paljon myös horisontaalisessa kuljetuksessa konttien kuljettamiseen konttikentän ja laiturialueen välillä sekä kuorma-autojen lastaamisessa ja purkamisessa (Vis & de Koster 2003). Yläkuormaajaa ja teleskooppipuomilla varustettua konttikurottajaa taas käytetään lähinnä tyhjen konttien siirtämiseen ja pinoamiseen varastoalueilla, sillä ne pystyvät käsittelemään pääasiassa kevyempiä kontteja lukkitrukkiin verrattuna. Yläkuormaajaa ja konttikurottajaa hyödynnetään paljon etenkin pienemmissä ja vähemmän automatisoiduissa

konttiterminalaaleissa niiden joustavan toimintansa ansiosta. (Steenken ym. 2004.) Kuvat yläkuormaajasta ja konttikurottajasta löytyvät tämän tutkielman liitteistä 5 ja 6.

Konttien vertikaaliseen kuljetukseen voidaan edellä esiteltyjen lastinkäsittelylaitteiden lisäksi käyttää myös kiskoille asetettuja nostureita (engl. *rail-mounted gantry crane*, *RMG*) sekä kumipyörien avulla kulkevia nostureita (engl. *rubber-tired gantry crane*, *RTG*) (Steenken ym. 2004). RTG:n ja RMG:n etuna lukkeihin, yläkuormaajiin ja konttikurottajiin verrattuna on se, että RTG ja RMG vaativat vähemmän tilaa operoidessaan konttipinoja ja niiden avulla voidaan pinota korkeampia konttipinoja. RTG on toiminnaltaan joustavampi liikkeessään konttipinolta toiselle, kun taas RMG on vakaampi, joten sen avulla kontteja voidaan pinota korkeampiin pinoihin kuin RTG:n avulla, mikä taas lisää konttipinojen tiheyttä varastointialueella. (Talley 2009.) RMG- ja RTG-nostureita voidaan käyttää konttikentän toimintojen lisäksi myös kuorma-autojen sekä junien lastaamiseen tai purkamiseen (Steenken ym. 2004). Kuvat RMG- ja RTG-nostureista löytyvät tämän tutkielman liitteistä 7 ja 8. Taulukkoon 1 on koottu yleisimmät konttiterminalaaleissa hyödynnettävät lastinkäsittelylaitteet.

Taulukko 1 Konttiterminalaalin lastinkäsittelylaitteet (Vis & de Koster 2003; Steenken ym. 2004; Talley 2009)

Konttien horisontaalinen kuljetus	Konttien vertikaalinen kuljetus
AGV	Lukkitrukki
Terminaalitraktori + perävaunu	RMG/RTG
Terminaalitraktori + moniperävaunuyhdistelmä	Yläkuormaaja/Konttikurottaja

Tänä päivänä yhä useammissa konttisatamissa konttien lastaamiseen ja purkamiseen sekä horisontaaliseen ja vertikaaliseen kuljetukseen liittyviä toimintoja on pyritty automatisoimaan. Maailman johtavissa konttisatamissa, kuten Rotterdamissa, käytetään AGV-ajoneuvojen lisäksi esimerkiksi etäohjattavia laiturinostureita alusten lastaamiseen ja purkamiseen. Konttiterminalitoimintojen automatisointia käsitellään tarkemmin luvussa 4.1.2.

2.3.3 Konttisataman sidosryhmät

Satamayhteisö (engl. *port community*) käsittää kaikki sidosryhmät ja toimijat, jotka tavalla tai toisella osallistuvat sataman toimintaan (Ojala ym. 2025). Konttisataman sidosryhmät ovat henkilöitä, organisaatioita tai yhteisöjä, jotka osallistuvat konttisataman toimintaan ja hallintaan tai ovat konttisataman tarjoamien palveluiden käyttäjiä

(Almutairi ym. 2019). Konttisataman käyttäjät (engl. *port users*) ovat niitä, jotka käyttävät satamaa osana rahdin siirtämistä tietystä lähtöpaikasta tiettyyn määränpäähän. Näitä ovat esimerkiksi konttivarustamot, kuorma-auto- ja rautatieliikenteen harjoittajat sekä rahtaaajat. Satamapalvelujen tarjoajat (engl. *port service providers*) taas nimensä mukaisesti tarjoavat palveluja sataman käyttäjille. Merkittävimmät satamapalvelujen tarjoajat ovat satamaoperaattorit ja satamanpitäjät. Muita satamapalveluiden tarjoajia ovat esimerkiksi laivameklarit, huolitsijat sekä tulliviranomaiset. (Talley 2009.)

Kirjallisuudessa huomaa usein käytettävän ristiin termejä terminaalioperaattori (engl. *terminal operator*) ja satamaoperaattori (engl. *port operator*). Tässä tutkielmassa käytetään jatkossa termiä satamaoperaattori puhuttaessa sataman ensisijaisista palveluntarjoajista, sillä se on Suomessa vakiintuneempi käsite. Satamaoperaattorit voivat olla joko varustamoihin sidoksissa olevia tai pelkästään satamaoperaattorin tehtäviin ja ahtaukseen erikoistuneita organisaatioita, jotka vastaavat konttiterminalien käytännön toiminnasta konttisatamissa. Satamaoperaattorit operoivat tavallisesti yhtä tai useampaa konttiterminaalialia. Konttisatamassa toimii yleensä useampi eri satamaoperaattori, jotka vastaavat oman terminaalinsa toiminnasta. Satamaoperaattorit ovat vastuussa esimerkiksi lastinkäsittelystä, nostureiden ja laituritilojen käytöstä, konttikentän toiminnoista sekä muiden terminaalipalveluiden, kuten varastointipalveluiden tarjoamisesta. (Talley 2009.)

Notteboomin ym. (2022) määritelmän mukaan satamanpitäjä (engl. *port authority*) on julkinen tai yksityinen yksikkö, jolla on kansallisen lainsäädännön tai sääntelyn nojalla valtuudet hallinnoida, kehittää, hoitaa sekä toisinaan käyttää satama-alueita ja -infrastruktuuria sekä koordinoita ja valvoa satamatoimintoja sekä satamaoperaattoreiden toimintaa. Aikaisemmin satamanpitäjät operoivat itse myös konttiterminalien toimintaa konttisatamissa, mutta nykyisin satamanpitäjät pääosin vuokraavat konttiterminaleja satamaoperaattoreiden käyttöön. Tätä kutsutaan niin sanotuksi ”landlord”-periaatteeksi. (Talley ym. 2009.) Satamanpitäjä hallinnoi sataman maa-alueita kansallisen tai paikallishallinnon puolesta. Satamanpitäjän vastuulla on niin ikään yleensä sataman taloudellinen hallinta ja kilpailukyvyyn edistäminen sekä satamaa ympäröivän alueen talouskasvun tukeminen (Verhoeven 2010).

2.4 Konttisatamat Suomessa ja maailmalla

Maailman suurimmat konttisatamat sijaitsevat yleensä strategisesti tärkeillä maantieteellisillä sijainneilla, lähellä suuria talouskeskuksia. Kooltaan suurissa konttisatamissa on

myös panostettu laajasti satamainfrastruktuuriin ja konttiterminaalien toimintaan. Lisäksi satamien toiminnassa hyödynnetään laajasti uusia innovaatiota ja teknologista kehitystä sataman toiminnan ja sen operatiivisen tehokkuuden parantamiseksi. Maailman merenkulkuneuvosto WSC:n mukaan yhdeksän maailman kymmenestä suurimmasta konttisata-
tamasta sijaitsee Aasiassa, ja näistä seitsemän Kiinassa. (World Shipping Council 2024a.) WSC on voittoa tavoittelematon toimialajärjestö, joka edustaa kansainvälistä linjaliikennettä. Järjestö työskentelee merenkulkualan kestävämmän ja turvallisemman tulevaisuuden kasvun edistämiseksi. (World Shipping Council 2024b.) Taulukkoon 2 on koottu maailman kymmenen suurinta konttisatamaa konttivolyymeilla mitattuna vuonna 2023.

Taulukko 2 Maailman suurimpien konttisaatamien konttivolyymit vuonna 2023 (World Shipping Council 2024a)

Konttisaatama	Konttivolyymi (miljoonaa TEU)
Shanghai, Kiina	49,16
Singapore	39,01
Ningno-Zhoushan, Kiina	35,30
Shenzhen, Kiina	29,88
Qingdao, Kiina	28,77
Guangzhou, Kiina	25,41
Busan, Etelä-Korea	23,04
Tianjin, Kiina	22,19
Jebel Ali, Dubai, Yhdistyneet Arabiemiraatit	14,47
Hong Kong, Kiina	14,40

TEU-määrillä mitattuna selkeästi suurin konttisaatama on Shanghain satama Kiinassa yli 49 miljoonan TEU:n konttivolyymillä. Taulukkoa 2 tarkasteltaessa on huomion arvoista todeta, että maailman kymmenestä suurimmasta konttisaatamasta yksikään ei sijaitse Euroopassa. Euroopan suurin konttisaatama, Rotterdamin satama, oli konttivolyymeilla mitattuna vuonna 2023 maailman 12. suurin satama 13,45 miljoonaa TEU:n konttivolyymillä. Muita suuria Euroopassa sijaitsevia konttisaatamia ovat Antwerpenin satama Belgiassa (konttivolyymi 12,50 miljoonaa TEU) sekä Hampurin satama Saksassa (konttivolyymi 7,70 miljoonaa TEU). (World Shipping Council 2024a.)

Tämän tutkielman pääpainon ollessa Suomen konttisaatamissa ja niissä hyödynnettävissä automaatioteknologioissa, on ensin relevanttia tarkastella yleisellä tasolla myös Suomen konttisaatamien toimintaa sekä niiden liikennemääriä. Suurin osa Suomen satamista on

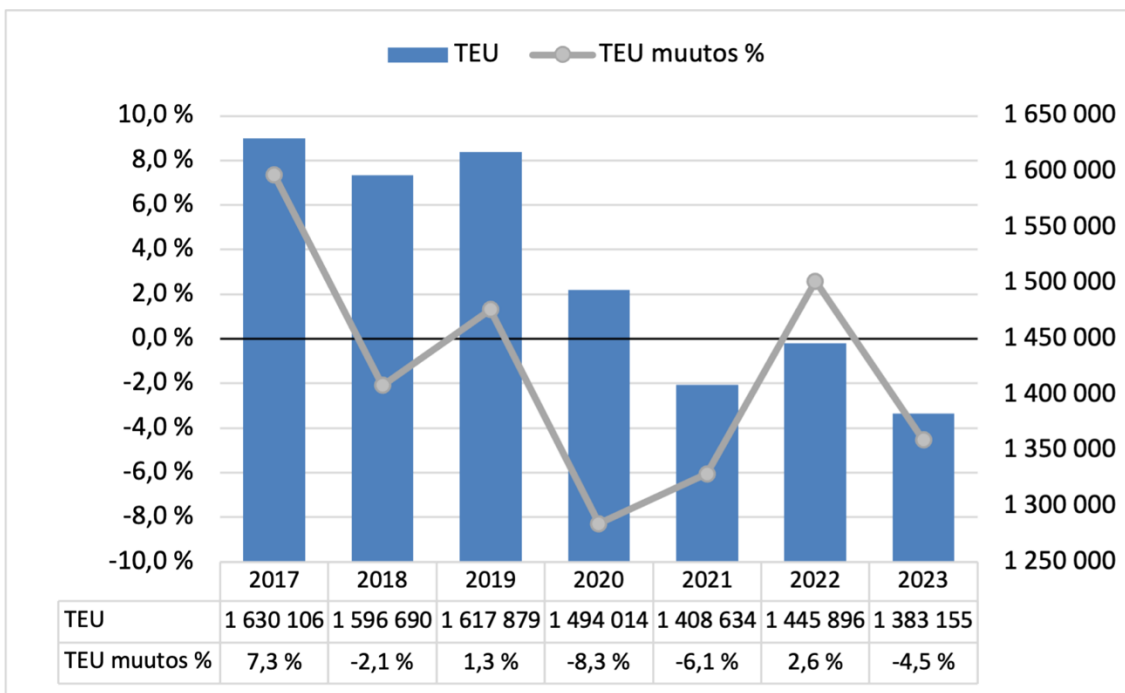
niin sanottuja yleissatamia, jotka käsittelevät eri rahtikategorioita monipuolisesti. Yleissatamien kautta kulkee konttiliikenteen lisäksi esimerkiksi kuiva- ja nestemäinen irtotavara, ro-ro- ja lo-lo-liikenne sekä erilaiset projektilastit. Suomen rahtimääriltään kolmen suurimman konttisarjan, HaminaKotkan, Helsingin ja Rauman satamien, kautta kulkee noin 90 prosenttia koko Suomen konttiliikenteestä (Tilastokeskus 2024). Edellä mainituista satamista on säännöllistä viikoittaista konttiliikennettä tärkeimpiin Manner-Euroopan valtamerisatamiin, kuten esimerkiksi Rotterdamiin, Antwerpeniin sekä Hampuriin, hieman satamasta riippuen. Taulukkoon 3 on koottu Suomen kymmenen suurimman konttisarjan konttivolyymit vuonna 2023 (Tilastokeskus 2024).

Taulukko 3 Suomen suurimpien konttisarjien volyymit vuonna 2023 (Tilastokeskus 2024)

Satama	Konttivolyymi (TEU)
HaminaKotka	612 520
Helsinki	445 807
Rauma	209 875
Hanko	57 896
Oulu	23 965
Tornio	12 143
Kokkola	12 026
Kemi	5 010
Turku	3 004
Uusikaupunki	512

Kuten taulukoista 2 ja 3 nähdään, Suomen konttisarjien käsittelemät konttivolyymit ovat merkittävästi pienemmät kuin maailman suurimpien konttisarjien konttivolyymit. Suomen osuus kaikista maailmalla lastatuista konteista on vain noin 5–6 promillea. Maailman suurimpien konttisarjien konttivolyymejä Suomen suurimpiin konttisarjoihin verrattuna kuvaa hyvin se, että yksin Shanghain satama maailman suurimpana konttisarjana käsittelee alle kahdessa viikossa vastaavan määrän kontteja kuin kaikki Suomen satamat yhteensä. (Ojala ym. 2021.) Shanghain sataman konttivolyymi on noin 80 kertaa suurempi kuin Suomen suurimman konttisarjan, HaminaKotkan, konttiliikenteen kokonaisvolyymit. Suomen konttisarjien globaalissa mittakaavassa verrattain pieniin konttivolyymeihin vaikuttavat monet asiat, kuten esimerkiksi Suomen satamien syrjäinen maantieteellinen sijainti, kansainvälisessä vertailussa Suomen sisämarkkinoiden ja talousalueen pieni koko sekä se, ettei Suomen konttisarjoihin ole valtameriliikennettä.

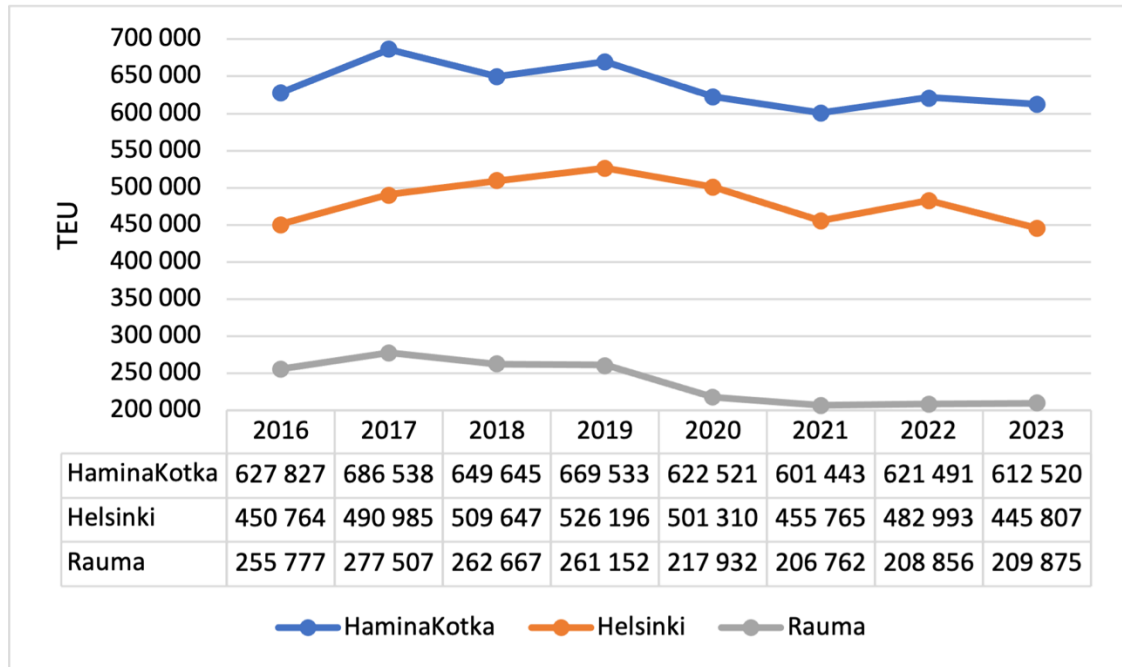
Suurin osa, noin 70 prosenttia, Suomeen saapuvasta konttiliikenteestä on valtamerireittien feeder- eli syöttöliikennettä Suomen satamien toimiessa usein feeder-reittien päätepisteenä (Ojala ym. 2021). Feeder-liikenteessä konttialuksen reitillä on yleensä neljästä kuuteen satamaa, joissa konttialuksesta puretaan yhdellä kertaa noin 10–30 prosenttia sen kapasiteetista ja sitä vastoin alukseen lastataan suurin piirtein saman verran kontteja (Ojala ym. 2025). Feeder-liikenteen ohella loput noin 30 prosenttia Suomeen saapuvasta konttiliikenteestä koostuu Euroopan ja Välimeren alueen lähiliikenteestä. Feeder- ja lähiliikennettä Suomeen operoivat pääosin samat konttivarustamot kooltaan verrattain pienillä, keskimäärin noin 1 000 TEU:n konttialuksilla. Rajoituksia Suomeen suuntautuvaan konttialusliikenteeseen tuovat esimerkiksi talvimerenkulun edellyttämä alusten jäissäkulkukyky. (Ojala ym. 2021.) Kuvioon 4 on koottu Suomen konttiliikenteen kokonaisvolyymit sekä kokonaisvolyymien prosentuaalinen muutos vuosina 2017–2023 (Tilastokeskus 2024).



Kuvio 4 Suomen konttiliikenteen kokonaisvolyymit vuosina 2017–2023 (Tilastokeskus 2024)

Kuten kuviosta 4 huomataan, koronapandemiaa edeltäneenä aikana Suomen konttiliikenteen kokonaisvolyymit olivat merkittävästi suuremmat kuin koronapandemian jälkeisinä vuosina. Suomen konttiliikenne ei siis ollut vielä vuonna 2023 elpynyt koronapandemiaa edeltäneelle tasolle, vaikka vuonna 2022 pieniä elpymisen merkkejä olikin havaittavissa. Vuosina 2017–2019 konttiliikenteen keskimääräinen volyyymi oli 1 614 892 TEU, kun taas koronapandemian jälkeisinä vuosina 2022–2023 keskimääräinen konttivolyyymi oli

1 414 526 TEU, mikä on noin 11 prosenttia vähemmän kuin koronapandemiaa edeltäneinä vuosina. Kuvioon 5 on koottu Suomen kolmen suurimman konttisataman konttiliikenteen kokonaisvolyymien kehitys vuosien 2016 ja 2023 välillä (Tilastokeskus 2024).



Kuvio 5 Suomen suurimpien konttisatamien kokonaisvolyymit 2016–2023 (Tilastokeskus 2024)

Kuviosta 5 voidaan havaita, että vuonna 2023 92 prosenttia koko Suomen konttiliikenteestä kulki kolmen suurimman konttisataman eli HaminaKotkan, Helsingin ja Rauman satamien kautta. Vuonna 2023 HaminaKotkan sataman konttiliikenteen kokonaisvolyymi oli 612 520 TEU, joten sen kautta kulki hieman yli 40 prosenttia Suomen konttiliikenteestä. Samaisena tarkasteluvuotena 2023 Helsingin sataman konttiliikenteen kokonaisvolyymi oli 445 807 TEU, joka on noin kolmasosa Suomen konttiliikenteen kokonaisvolyymista, mutta kuitenkin 27 prosenttia vähemmän kuin HaminaKotkan konttivolyymit. Suomen kolmanneksi suurimpana konttisatamana Rauman sataman konttiliikenteen kokonaisvolyymi vuonna 2023 oli 209 875 TEU, joka kattaa noin 15 prosenttia koko Suomen konttiliikenteen volyyymista. Rauman sataman konttivolyymit ovat kuitenkin jo selvästi pienemmät, kuin kahden suurimman konttisataman HaminaKotkan ja Helsingin sataman konttivolyymit. Suomen kolmen suurimman konttisataman jälkeen neljänneksi suurimman konttisataman, Hangon sataman ja viidenneksi suurimman konttisataman, Oulun sataman, osuudet Suomen konttiliikenteen kokonaisvolyymista ovat vain noin 2–4 prosenttia. Viiden suurimman konttisataman kautta kulki vuonna 2023 kaiken kaikkiaan

noin 98 prosenttia Suomen konttiliikenteestä TEU-määrillä mitattuna. (Tilastokeskus 2024.)

Lastinkäsittely Suomen konttisatamissa hoidetaan suurimmaksi osin vielä manuaalisesti. Konttiterminalien laitureilla konttien nostoihin aluksesta maihin tai toisinpäin käytetään pääasiassa STS-nostureita, joita hallinnoivat eri satamaoperaattorit. Konttinosturina voidaan hyödyntää joissain konttiterminalleissa myös mobiilinostureita. Konttien horisontaaliseen ja vertikaaliseen kuljetukseen taas käytetään muun muassa lukkeja, konttikurottajia, RTG:tä sekä terminaalitraktoreita. Etenkin konttien horisontaaliseen kuljetukseen käytettävien lastinkäsittelylaitteiden käyttö riippuu satamaoperaattorista sekä tämän hallitseman konttiterminalin infrastruktuurista.

Suomessa satamanpitäjistä käytetään myös nimitystä satamayhtiö, sillä satamat on osakeyhtiöitetty 2010-luvun alussa ja nykyään satamayhtiöt ovat kuntien omistuksessa. Satamayhtiöiden tärkein tehtävä on mahdollistaa satamaoperaattoreiden ja kontti-varustamoiden sujuva toiminta konttisatamassa. (Ojala ym. 2021.) Suomen konttisatamissa toimitaan pääasiassa niin sanotulla ”landlord”-periaatteella, jossa satamayhtiö omistaa infrastruktuurin eli esimerkiksi satamalaiturit, tiet, kenttäalueet ja valomastot. Satamaoperaattorit taas omistavat sitten kaiken muun, kuten lastinkäsittelylaitteet. Satamaoperaattorit eivät maksa varsinaista kiinteää vuokraa satamayhtiölle operoimastaan konttiterminalialueesta, vaan satamayhtiö perii satamaoperaattorin operoiman terminaalin kautta kulkevasta liikenteestä tavaramaksuja sekä säilytysmaksuja kulloinkin voimassa olevan hinnaston mukaisesti. Esimerkiksi vuoden 2025 hinnaston mukaan Helsingin Satama Oy:n perimä tavaraliikenteen yleismaksu sekä kotimaan että ulkomaan liikenteessä on 3,50 € per 1 000 kg brutto. Edellä mainittu tavaramaksu ei kuitenkaan koske kaikkia tavaralajeja, kuten esimerkiksi metsäteollisuustuotteita ja perusmetalleja, joista perittävä tavaramaksu on alhaisempi (2,07 € per 1 000 kg brutto). (Port of Helsinki 2025.)

3 Älykkäät teknologiat konttisaromaympäristössä

3.1 Satama 4.0-konsepti ja sen keskeiset teknologiat

Vaikka digitalisaatiossa satama- ja merenkulkualan on katsottu jääneen jälkeen muista toimialoista, ovat teollisuus 4.0:n teknologiat kuitenkin viime aikoina yleistyneet satama- ja merenkulkualan kontekstissa. Käsitteellä teollisuus 4.0 viitataan neljänteen teolliseen vallankumoukseen, jossa perinteistä teollista tuotantoa ja digitalisaatiota yhdistetään älykkäiden teknologioiden avulla. (Heikkilä ym. 2020.) Neljännen teollisen vallankumouksen katsotaan alkaneen 2010-luvun alussa Saksassa, kun teollisuus 4.0:n käsite esiteltiin ensimmäisen kerran Hannoverin messuilla (de la Peña Zarzuelo 2021). Teollisuus 4.0:n odotetaan lisäävän liiketoimintaprosessien ketteryyttä, joustavuutta, avoimuutta ja tiedon jakamista sekä parantavan tuottavuutta. Lisäksi erilaisia toimintatapoja voidaan hyödyntää laajemmassa mittakaavassa, kuten esimerkiksi ennakoivaa kunnossapitoa, reaaliaikaista koordinoimista ja optimoimista, laadunvalvontaa sekä ennakoivaa mallintamista ja päätöksentekoa. (Triska ym. 2024.)

Älykkäät teknologiat (engl. *Smart Technologies*) ovat olennaisessa osassa teollisuus 4.0-konseptissa. Chungin (2021) mukaan älykkäillä teknologioilla tarkoitetaan tekoälyn ja tietojenkäsittelytieteen teknologioiden, kuten koneoppimisen ja big datan sovelluksia, joilla luodaan kognitiivista tietoisuutta kohteesta, esimerkiksi järjestelmästä, tieto- ja viestintäteknologian, kuten IoT:n tai lohkoketjujen avulla. Tarkoituksena on tehdä järjestelmästä itsenäinen ja sopeuttaa se ympäristön muutoksiin. Älykkäät teknologiat keräävät suuria määriä dataa esimerkiksi antureiden avulla. Kerätty data analysoidaan tehokkaasti ja hyödynnetään päätöksenteossa sekä toiminnan optimoinnissa. Päätöksenteossa hyödynnetään kerätyn datan lisäksi myös kokemuksen kautta oppimista.

Käsitteellä satama 4.0 (engl. *port 4.0*) tarkoitetaan teollisuus 4.0 soveltamista satamaympäristössä (Heikkilä ym. 2022). Satama 4.0 vastaa digitalisaation kehityssuuntaukseen, joka pyrkii integroimaan tekoälyn, koneoppimisen, IoT:n ja automaation sekä muut älykkäät teknologiat satamatoimintoihin (Benayoune 2023). Omaksumalla satama 4.0-konseptin, satamat voivat sopeutua digitalisaation ja älykkäiden teknologioiden tuomiin mahdollisuuksiin ja haasteisiin sekä parantaa kilpailukykyään globaalissa logistiikkaketjussa. Konttisaromien osalta teollisuus 4.0 voi siis parantaa esimerkiksi lastinkäsittelytoimintojen tehokkuutta ja tuottavuutta, sidosryhmien välistä yhteistyötä, infrastruktuurin seuran-

taa ja valvontaa, sataman turvallisuusvalvontaa, intermodaalisen liikenteen ja tullitietojen koordinoitua, toimitusketjun näkyvyyttä sekä energiankulutusta ja ympäristön seurantaan edistäen näin ollen kestävästä kehityksestä. (Triska ym. 2024.)

Kirjallisuudessa näkee paljon käytettävän käsitteen satama 4.0 ohella myös käsitettä älykäs satama (engl. *smart port*). Edellä mainittuja käsitteitä käytetään kirjallisuudessa paljon niin ikään ristiin, eikä niiden välillä ole merkittävää eroa. (Behdani 2023.) Kuten jo johdantoluvussa esiteltiin, Junin ym. (2018) määritelmän mukaan älykäs satama hyödyntää teknologioita, jotka parantavat sekä konttisataman tuottavuutta että tehokkuutta, mutta myös turvallisuutta ja ympäristöystävällisyyttä käyttämällä automatisoituja järjestelmiä, jotka mahdollistetaan älykkäiden teknologioiden, kuten tekoälyn ja IoT:n avulla. Perinteiset ihmisen suorittamat prosessit korvataan tai niitä ainakin tuetaan autonomisilla järjestelmillä. Automaation ja autonomian ansiosta älykäs satama hyödyntävät koneet, laitteet ja järjestelmät voivat tehdä omia päätöksiään helpottaakseen ja tehostaakseen esimerkiksi lastinkäsittelyä, suunnittelua, seurantaan ja valvontaa. (Chung 2021.) Paraskevas'n ym. (2024) mukaan automaatio onkin älykkäiden satamien kulmakivi, jonka avulla satamat voidaan muuttaa joustaviksi ja luotettaviksi logistiikkakeskuksiksi, jotka tarjoavat välittömiä ja ennakoitavissa olevia fyysisiä virtoja. Älykkään sataman tarkoituksena on parantaa sataman kokonaistehokkuutta, lisätä kapasiteettia, alentaa kustannuksia sekä parantaa turvallisuutta ja vähentää satamatoiminnan ympäristövaikutuksia. Li ym. (2023) taas määrittelevät älykkään sataman ”korkeamman satamasukupolven (Gen) symbolina, jossa on älykkääseen teknologiaan perustuvia ratkaisuja, jotka auttavat satamia, sataman käyttäjiä ja työvoimaa parantamaan tehokkuuttaan ja toimintojaan tuoden näin hyötyä sekä satamille että koko toimitusketjulle”.

Molavin ym. (2019), Lin ym. (2023), Paraskevas'n ym. (2024) ja Triskan ym. (2024) tutkimusten mukaan käsitteitä ”satama 4.0” ja ”älykäs satama” on käsitelty laajasti useissa akateemisissa tutkimuksissa lukuisten eri tutkijoiden toimesta. Heidän mukaansa tutkimus aiheesta on kuitenkin vielä pirstaleista eikä tutkimustulokset ole aina kovin yksimielisiä. Edellä mainittujen tutkijoiden mukaan satama 4.0:n ja älykkään sataman käsitteiden määritelmistä ei myöskään ole päästy yhteisymmärrykseen. Lisäksi satama 4.0-konseptin mahdollistavista älykkäistä teknologioista ei löydy yhtä selkeää tai kaiken kattavaa tieteellistä tutkimusta, ja useissa tutkimuksissa, kuten tässäkin pro gradu -tutkielmassa, käsitellään vain muutamaa teollisuus 4.0:n teknologiaa satama 4.0-ympäristössä.

Vaikka teollisuus 4.0 on esitelty jo yli vuosikymmen sitten, ei siis kuitenkaan ole olemassa yhtä yleisesti hyväksyttyä mallia, joka kattaisi kaikki keskeiset älykkäissä satamissa hyödynnettävät teollisuus 4.0:n teknologiat (Behdani 2023). Sanchez-Gonzalesin ym. (2019) ja de la Peña Zarzuelon ym. (2020) tutkimusten mukaan keskeisimmät älykkäissä satamassa hyödynnettävät teollisuus 4.0:n teknologiat ja siten satama 4.0:n mahdollistajat on koottu taulukkoon 4.

Taulukko 4 Keskeisimmät satama 4.0:n teknologiat (Sanchez-Gonzales ym. 2019; de la Peña Zarzuelo ym. 2020)

Satama 4.0:n teknologia	Englanninkielinen termi
Tekoäly ja koneoppiminen	Artificial Intelligence (AI) and Machine Learning (ML)
Esineiden internet	Internet of Things (IoT)
Big data	Big Data (BD)
Lohkoketjut	Blockchain (BC)
Pilvipalvelut	Cloud Computing (CC)
Automaatio ja robotiikka	Automation and robotics
Lisätty ja virtuaalinen todellisuus	Augmented (AR) and Virtual Reality (VR)
3D-tulostus ja lisäainevalmistus	3D Printing (3DP) and Additive Manufacturing (AM)
Kyberturvallisuus	Cybersecurity

Tästä edespäin tässä tutkielmassa älykkäissä satamissa hyödynnettävistä keskeisimmistä teollisuus 4.0:n teknologioista käytetään termiä satama 4.0:n teknologiat. Johdantoluvussa tutkimuksen rajauksen yhteydessä määriteltiin, että tutkimusaiheen laajuuden vuoksi tässä tutkielmassa satama 4.0:n teknologioilla tarkoitetaan tekoälyä, koneoppimista ja IoT:tä sekä näiden mahdollistamaa automaatiota. Useat tutkimukset, kuten Sanchez-Gonzales ym. (2019) ja de la Peña Zarzuelon ym. (2020) tarkastelevatkin laajemmin juuri tekoälyn ja IoT:n sekä sitä kautta automaation näkökulmia satama 4.0-konseptissa. Näiden tutkimusten lisäksi useat tutkimukset keskittyvät yksinomaan esimerkiksi tekoälyn tai automaation soveltamiseen älykkäissä satamassa. Maailman suurimpiin ja edistyneimpiin satamiin kuuluvat Hampurin, Rotterdamin ja Singaporen satamat ovat perinteisesti olleet edelläkävijöitä satama 4.0-konseptin kehittämisessä 2010-luvulta alkaen ja näissä satamissa hyödynnetäänkin nykyään laajasti satama 4.0:n teknologioita. (Heikkilä ym. 2022.)

Seuraavaksi luvuissa 3.2 ja 3.3 määritellään automaation taustatekijöinä toimivien tekoälyn, koneoppimisen ja IoT:n käsitteet sekä analysoidaan niiden tyypilliset

sovelluskohteet konttisatamaympäristössä. Luvussa 4 taas tarkastellaan automaation määritelmää, automaation käyttökohteita konttiterminaalitoiminnoissa, automaation ajureita ja odotettuja vaikutuksia sekä automaation tuomia haasteita.

3.2 Tekoälyn ja koneoppimisen soveltaminen älykkäässä satamassa

Pournaderin ym. (2021) mukaan tekoäly on tietojenkäsittelytieteen ala, joka käsittää sellaisten järjestelmien, kuten tietokoneiden sekä muiden koneiden kehittämisen, jotka pystyvät suorittamaan tehtäviä, jotka normaalisti edellyttävät ihmisen älykkyyttä ja ongelmanratkaisukykyä. Kaplanin ja Haenlein (2019) mukaan tekoäly taas tarkoittaa koneen kykyä suorittaa ihmisen toiminnan kaltaisia älyllisiä toimintoja, kuten päättelyä ja päätöksentekoa sekä oppimista ja luovuutta vaativia tehtäviä. Tekoälyn avulla tekniset järjestelmät pystyvät havaitsemaan ympäristönsä sekä käsittelemään havaintojaan, ratkaisemaan ongelmia, toimimaan tietyn tavoitteen saavuttamiseksi sekä toimimaan ennustamisen apuna (Pournader ym. 2021). Tirkolaeen ym. (2021) mukaan koneoppiminen on tekoälyn tunnetuin osa-alue. Siinä keskitytään datan ja algoritmien käyttöön ihmisen oppimistavan jäljittelemiseksi ja sen tarkkuuden asteittaiseksi parantamiseksi ilman nimenomaista ohjelmointia jokaiseen tehtävään erikseen. Koneoppimisen avulla pyritään siis tekemään ennusteita dataan perustuen sekä tunnistamaan erilaisten muuttujien välisiä kuviota suuria tietokokonaisuuksia käyttäen. Jordanin ja Mitchellin (2015) mukaan koneoppiminen keskittyy sellaisten algoritmien kehittämiseen, joiden avulla tietokoneet voivat kehittyä ja oppia automaattisesti kokemuksen kautta.

Tekoäly ja koneoppiminen ovat keskeisimpiä teknologioita satama 4.0:n konseptissa. Ne toimivat myös useiden muiden satama 4.0:n teknologioiden, kuten juuri automaation mahdollistajana. Sanchez-Gonzalesin ym. (2019) mukaan tekoälyteknologian sovellukset yhdessä big datan kanssa auttavat etenkin saatavilla olevien tietojen tehokkaammassa hyödyntämisessä. Tekoälyä ja koneoppimista sovelletaan useissa eri satamatoiminnoissa ja -järjestelmissä erityisesti konttisataman toiminnan tehokkuuden, ympäristöystävällisyyden ja turvallisuuden parantamiseksi.

Rotterdamin ja Singaporen satamat ovat investoineet konttinumeron tunnistusjärjestelmiin, joissa käytetään tekoälyä, koneoppimista ja neuroverkkoja hyödyntävää optimaalista merkintunnistustekniikkaa (engl. *Optimal Character Recognition, OCR*) konttien käsittelyprosessien automatisoimiseksi (Behdani 2023). Konttiterminaalien porteille intermodaalisten kuljetuskonttien tarkastus- ja tunnistusmenettelyjen automatisoimiseksi

asennetut OCR-järjestelmät pystyvät tunnistamaan ja tallettamaan konttikohtaisen sarjanumeron sekä kontin BIC-koodin, joka edustaa kontin omistajaa. Lisäksi OCR-järjestelmän avulla voidaan tunnistaa kontin tyyppi, koko, paino sekä kontin matkaan liittyvät tiedot. Kuorma-autoille tarkoitettujen porttien lisäksi OCR-järjestelmää hyödyntäen myös saapuvat ja lähtevät junat voidaan käsitellä OCR-porttijärjestelmien kautta. (Heiling & Voß 2017.) Lisäksi myös syväoppimista voidaan hyödyntää konttikoodien tunnistamiseen. Sitä hyödynnetään tunnistamaan etenkin konttikodeja, joiden luettavuus on heikko esimerkiksi epäselvien tai epäyhtenäisten fonttien tapauksessa. (Yau ym. 2020.)

Vaikka kontit ovat kriittisiä terminaalin porteilla tunnistettavia kokonaisuuksia, niitä kuljettavat ajoneuvot tulee myös tunnistaa. OCR-järjestelmää voidaan hyödyntää siis lisäksi kuorma-autojen, traktoreiden ja muiden ajoneuvojen rekisterikilpien tunnistamisessa, jotka yhdessä videovalvonnan kanssa mahdollistavat ajoneuvojen liikkeiden jäljittämisen terminaali-alueella ja parantavat näin terminaali-alueen turvallisuutta. Kun kontti saapuu portille, kontin lisäksi ajoneuvon kuljettajan tiedot ja ajoneuvon rekisterinumero tunnistetaan, kirjataan ja yhdistetään kontin tietoihin. (Chao & Lin 2017.) OCR-järjestelmän lisäksi myös RFID-järjestelmää voidaan hyödyntää ajoneuvojen rekisterikilpien tunnistamisessa (Heiling & Voß 2017).

OCR-järjestelmä yhdessä 3D-laserskannauksen kanssa mahdollistaa myös konttien vahinkojen tarkastamisen. Järjestelmän avulla voidaan havaita konteissa mahdollisesti olevat repeämät, pullistumat tai reiät. Järjestelmän avulla tuotetut kuvat antavat todisteita siitä, missä kunnossa kontti on satamaan tullut tai satamasta lähtenyt. (Heiling & Voß 2017.) OCR-teknologiaa hyödynnetään myös satamalaiturilla sekä konttikentällä olevissa nostureissa, sillä moderneissa konttiterminalleissa operoivat laiturinosturit, RMG:t ja RTG:t ovat usein varustettu OCR-järjestelmillä. Konttien tunnistetietojen reaaliaikainen ja automaattinen vaihto luo perustan konttien siirtelyn tehostamiselle sekä auttaa ehkäisemään ja vähentämään virheitä, kuten väärän kontin purkamista konttialuksesta. (Heiling & Voß 2017.)

3.3 IoT:n soveltaminen älykkäässä satamassa

Esineiden internet on fyysisten esineiden tai laitteiden, kuten esimerkiksi ajoneuvojen tai koneiden verkosto, jossa edellä mainitut ovat reaaliajassa langattomasti yhteydessä toisiinsa älykkäiden antureiden, ohjelmistojen ja verkkoyhteyksien avulla. Koneet, ajoneuvot ja muut laitteet on liitetty internetiin ja ne keräävät, jakavat ja analysoivat tietoa reaali-

liajassa. Ne pystyvät toimimaan vuorovaikutuksessa toistensa kanssa ilman ihmisen välitöntä osallistumista. (Li ym. 2015.) IoT:n tarkoituksena on siis luoda laaja verkko toisiinsa liitettyjä laitteita, jotka vaihtavat tietoja keskenään. Tällaisia tietoja voivat olla esimerkiksi lämpötila, kosteus, ilmanlaatu, valo, sijainti ja liike. IoT-laitteiden keräämien tietojen jakaminen ja analysoiminen mahdollistaa esimerkiksi tiedonkeruun, etäohjauksen sekä reaaliaikaisen valvonnan useilla eri aloilla. IoT:n avulla kerättyjä tietoja voidaan tekoälyn ja koneoppimisen avulla analysoida reaaliaikaisesti ja niistä voidaan tunnistaa malleja, trendejä ja poikkeamia, jotka taas auttavat organisaatioita optimoimaan toimintojaan ja parantamaan niiden tulosta. IoT:n mahdollistavia teknologioita ovat anturit ja toimilaitteet, liitäntäteknologiat, pilvipalvelut, big data -analytiikka sekä turvallisuus- ja yksityisyysteknologiat. Anturit ovat laitteita, jotka havaitsevat muutokset ympäristössä, kuten lämpötilassa, valaistuksessa tai kosteudessa. Toimilaitteet taas ovat laitteita, jotka voivat aiheuttaa fyysisiä muutoksia ympäristössä, kuten venttiilin avaamisen tai sulkemisen tai moottorin käynnistämisen. Anturit ja toimilaitteet ovat esineiden internetin tärkeimmät teknologiat, sillä ne mahdollistavat koneiden ja laitteiden vuorovaikutuksen fyysiseen maailmaan. (Laghari ym. 2021.)

Datan ja muiden tietojen keräämiseen älykkäässä satamassa hyödynnettävän anturitekniologian ohella radiotaajuuden etätunnistus (engl. *Radio Frequency Identification, RFID*) on tyypillinen IoT-teknologian sovellus, jonka on todettu parantavan konttisatamatoimintojen suorituskykyä esimerkiksi porttitoimintojen automatisoinnissa. RFID on automaattinen tunnistustekniikka, joka mahdollistaa merkityn kohteen tunnistamisen ja tiedonvaihdon radioaaltojen välityksellä ilman näköyhteyttä. RFID-järjestelmät koostuvat tietoa kuljettavasta transponderista eli lähetin-vastaanottimesta, RFID-tunnisteesta, jossa on radioantenni, sekä kyselylaitteesta eli RFID-lukijasta. Kehittyneissä transpondereissa on lisäksi usein anturitekniikoita, jotka helpottavat fyysisten muuttujien, kuten lämpötilan tai kosteuden, mittaamista. RFID-lukijat välittävät tiedot muihin järjestelmiin jatkokäsittelyä varten. (Heiling & Voß 2017.)

RFID-teknologialla on useita erilaisia sovellusalueita konttisatamaympäristössä. Sitä voidaan ensinnäkin hyödyntää konttien tunnistamisessa ja seurannassa. RFID-teknologian yksi avainominaisuus on merkittyjen kohteiden, kuten konttien, automaattinen tunnistaminen ja niiden seuranta. RFID-tunnisteet voivat sisältää myös tietoja konteissa kuljetettavasta lastista. Teknologia voidaan lisäksi integroida GPS-antureihin konttien seurannan tehostamiseksi varastointialueilla, jossa korkeat konttipinot voivat aiheuttaa katvealueita.

(Heiling & Voß 2017.) Elektronisen sinetin etuna on näkyvyyden säilyttäminen kontin matkan varrella ja se mahdollistaakin reaaliaikaisen tapahtumaraportoinnin esimerkiksi satelliitti- tai matkapuhelinyhteyden avulla (Shi ym. 2011).

Konttien tunnistamisen ja seurannan lisäksi RFID-teknologiaa hyödynnetään konttiterminaalien porttitoiminnoissa. RFID-järjestelmään perustuva kuorma-auton sekä sen kuljettajan tietojen automaattinen kerääminen ja tarkastaminen auttaa parantamaan kulunvalvontaa konttiterminaalien porttialueella. Porttialueella RFID-teknologiaa hyödyntävissä satamissa kuorma-autot on rekisteröitävä ja niiden etuikkunaan on kiinnitettävä RFID-tunniste, jotta ne pääsevät terminaaleihin. Porttien sisään- ja uloskäynnin valvontaan voi kuulua myös konttien turvasinettien tilan tarkastaminen, joka voidaan täysin automatisoida elektronisten sinettien avulla. Aiemmin esitellyn OCR-teknologian etuna RFID-teknologiaan verrattuna on se, ettei OCR-teknologiassa kontteja ja ajoneuvoja itsessään tarvitse varustaa erillisillä tunneilla. Terminaalien porttien lisäksi RFID-lukija voidaan asentaa myös satamalaiturilla oleviin nostureihin, jotta rahdinantaja tietää, koska kontti on lastattu alukseen tai purettu aluksesta. (Heiling & Voß 2017.)

RFID-teknologiaa hyödynnetään myös AGV-ajoneuvojen navigoinnissa. RFID-tunneilla on upotettu maahan AGV:n toiminta-alueella. AGV saa RFID-tunneilla tallennetut maantieteelliset sijaintitiedot kahden lukijan avulla, jotka on asennettu AGV:n etu- ja takaosaan. Terminaalialueella tuhansia RFID-tunneilla käytetään AGV:n paikannukseen ja reitin määrittelyyn. AGV:n navigoinnin lisäksi RFID-tunnistetta voidaan käyttää myös esimerkiksi laiturinostureiden paikannukseen ja törmäyksen estämiseen. (Yang ym. 2018.) IoT-teknologiaa soveltavan RFID-teknologian hyödyt konttisatamaympäristössä perustuvat siis pääasiassa konttien ja ajoneuvojen tunnistamisen sekä seurannan tehostamiseen, portti- ja laituritoimintojen automatisointiin sekä AGV:n ja muiden lastinkäsittelylaitteiden navigointiin.

4 Automatisoidut konttiterminaalit

Automaatiolla tarkoitetaan järjestelmiä tai prosesseja, jotka suorittavat usein ennalta määriteltäviä tehtäviä tai toimintoja ilman ihmisen jatkuvaa ohjausta, toisin sanoen mahdollisimman vähäisellä ihmisen työpanoksella. Automaatio on siis ihmisen ajattelun ja fyysisen työpanoksen korvaamista sekä tietokoneilla että erilaisilla fyysisillä koneilla ja laitteilla. Automaatioteknologiaa hyödyntämällä pyritään yleensä parantamaan prosessien kannattavuutta, tuottavuutta ja luotettavuutta. Lisäksi sen avulla voidaan optimoida toiminnan tehokkuutta, vähentää kustannuksia ja työvoimantarvetta sekä minimoida haitallisia ympäristövaikutuksia ja ihmisen toiminnasta aiheutuvia toimintavirheitä näin ollen lisäten työturvallisuutta. Automaatio sen täydellisessä laajuudessaan toteutetaan hyödyntämällä IoT-teknologiaa, kuten erilaisia laitteita ja antureita, jotka pystyvät havainnoimaan, seuraamaan ja valvomaan automatisoitua prosessia. Tekoälyä ja koneoppimista taas hyödynnetään automatisoidun prosessin tai järjestelmän suorittamassa päätöksenteossa. (Gupta ym. 2017.)

Automaation yhteydessä puhutaan usein myös robotiikasta, ja sitä voidaankin pitää eräänlaisena tärkeänä automaation alakäsitteenä. Robotiikalla tarkoitetaan tietokoneohjattuja koneita, jotka on ohjelmoitu liikkumaan ja suorittamaan tiettyä työtehtävää samalla ollen ympäristönsä kanssa läheisessä vuorovaikutuksessa. IoT-teknologia, etenkin anturit, ovat tärkeä osa robotiikkaa. Jotta robotti olisi hyödyllinen, tulee sillä olla koko ajan tietoa siitä, mitä sen ympäristössä tapahtuu. Ilman antureita robotti ei pystyisi havaitsemaan mitään sen ympäristöstä eikä se näin ollen kykene toimimaan vuorovaikutuksessa robotin ulkopuolisen ympäristön, kuten muiden robottien, kanssa. Robotiikassa sekä roboteissa hyödynnettäviä IoT-teknologian antureita ovat esimerkiksi kosketus-, sijainti-, nopeus-, lämpötila- ja ultraäänianturit. (Gupta ym. 2017.)

Automaatio on avainasemassa etenkin konttisataman operatiivisen tehokkuuden ja tuottavuuden, mutta myös sen kustannustehokkuuden, ympäristöystävällisyyden ja turvallisuuden parantamisessa (Knatz ym. 2023). Automaation avulla pyritäänkin vähentämään satamatoiminnan kustannuksia ja työvoimantarvetta sekä lisäämään konttisataman tehokkuutta ja suorituskykyä (de la Peña Zarzuelo ym. 2020). Näin ollen automaatiota voidaan perustellusti pitää yhtenä satama 4.0:n kulmakivenä, sillä automatisoitu konttiterminaalit on tuottavampi, tehokkaampi, ympäristöystävällisempi ja turvallisempi perinteiseen konttiterminaaliiin verrattuna. (Notteboom ym. 2022; Knatz ym. 2023.) Jobran ja Kara

(2022) määrittelevätkin automaattisen konttiterminaalin terminaaliksi, joka hyödyntää edistyneimpiä teknologioita, jotka taas edelleen mahdollistavat esimerkiksi konttien käsittelyn ja sen valvonnan reaaliajassa sekä dynaamisen aikataulutuksen. Lisäksi kehittyneet teknologiat mahdollistavat lyhyemmät kuorma-autojen ja junien sekä laivojen läpimenoajat, vähentävät työvoima- ja ylläpitokustannuksia, lisäävät lastinkäsittelyn tehokkuutta sekä tukevat ympäristönsuojelua ja energian säästöä.

Käsitteet automaatio ja automaattiset järjestelmät esiintyvät myös useissa älykkään sataman määritelmässä, ja automaatioteknologian hyödyntäminen satamassa onkin yksi perusedellytyksistä, jotta satamaa voidaan kutsua älykkääksi satamaksi. Bracken ym. (2021) mukaan älykäs satama on automatisoitu satama, jossa hyödynnetään laajasti älykkäitä teknologioita, kuten tekoälyä, big dataa ja IoT:tä. Automaatio edellyttää kuitenkin myös fyysisen omaisuuden ja toimintamenettelyjen standardointia. Ensisijainen elementti tässä on standardimittainen kuljetuskontti sekä lastinkäsittelyprosessin standardointi, jotka mahdollistavat automaation tehokkaan hyödyntämisen (Notteboom ym. 2022).

4.1 Konttiterminaalien automaatio

Automaatiota voidaan hyödyntää konttiterminaalissa laajasti esimerkiksi konttien purkamisessa aluksesta tai lastaamisessa aluksiin, konttien horisontaalisissa ja vertikaalisissa kuljetustoiminnoissa terminaalialueella sekä terminaalin porttitoimintojen automatisoinnissa. Näiden lisäksi automaatiota voidaan soveltaa myös konttiterminaalien tietojärjestelmissä sekä konttikentän suunnittelussa ja toiminnan optimoinnissa. Tässä tutkielmassa keskitytään kuitenkin pääasiassa konttiterminaalien fyysisten lastinkäsittelylaitteiden sekä porttitoimintojen automatisointiin, sillä ne ovat enemmän akateemisessa kirjallisuudessa käsiteltyjä ja merkittävimmin konttiterminaalien toimintaan vaikuttavia automaation osa-alueita. Kaikki konttiterminaalissa toistuvat tehtävät, jotka eivät vaadi erityistä joustavuutta tai luovuutta ja siten ihmisen toimintaa, voidaan kuitenkin automatisoida. Konttiterminaalien automatisointi tulisi aloittaa ensin porttitoimintojen automatisoinnilla ja siirtyä sitten konttikentällä konttien vertikaaliseen kuljetukseen tarkoitettujen lastinkäsittelylaitteiden automatisoinnin kautta konttien horisontaalisen kuljetuksen automatisointiin. (Knatz ym. 2022.)

4.1.1 Konttiterminaalien automatisointiaste ja automaation kehitys

Martín-Soberón ym. (2014) mukaan konttiterminaalit voidaan jakaa niiden automatisointiasteen mukaan kokonaan automatisoiduiksi terminaaleiksi (engl. *fully automated terminals*) tai puoliautomatisoiduiksi terminaaleiksi (engl. *semi-automated terminals*). Kokonaan automatisoiduissa terminaaleissa on automatisoitu sekä konttien vertikaalinen että horisontaalinen kuljetus. Tällöin konttien kuljetus laiturinosturilta konttikentälle sekä konttien pinoaminen konttikentällä tapahtuvat miehittämättömien lastinkäsittelylaitteiden avulla. Laiturinostureita operoidaan kuitenkin yleensä etäohjauksella. (Rodrique & Notteboom 2021.) Puoliautomatisoituun terminaaliin taas kuuluu yleensä vain joko konttien vertikaalisen tai horisontaalisen kuljetuksen automatisointi. Puoliautomatisoidussa terminaalissa voi siis esimerkiksi operoida konttikentällä automatisoituja RMG:tä konttien pinoamisessa samalla, kun konttien horisontaalinen kuljetus tapahtuu vielä manuaalisesti. (Jobran & Kara 2022.) Edellä esiteltyt konttiterminaalien automaatiotasot eivät kuitenkaan ota huomioon automatisoituja terminaaliportteja tai konttikentän suunnittelujärjestelmiä. Notteboom ym. (2022) ehdottavatkin termiä ”täysin automatisoitu terminaali” (engl. *completely automated terminal*) kuvaamaan konttiterminaalia, jossa terminaali-toimintojen automaatio on toteutettu aina laiturilta portille tai jopa vielä pidemmälle.

Konttiterminaalien keskeisten toimintojen automatisointi alkoi 1990-luvun alkupuolella automatisoidun päätöksenteon kehittymisellä laituripaikkojen ja konttikentän suunnittelussa. Tätä seurasivat myöhemmin 1990-luvulla konttiterminaalin porttien toiminnan automatisointi, ja 2010-luvun alussa automatisoidut jäljitys- ja seurantajärjestelmät. 2010-luvun puolivälissä konttien horisontaalinen kuljetus AGV:n avulla yleistyi paikannusjärjestelmien ja laskentakapasiteetin kehittymisen myötä. 2010-luvun lopulla automaattiset nosturit (engl. *automated yard cranes*) yleistyivät konttien vertikaalisessa kuljetuksessa konttikentällä. (Notteboom ym. 2022.) Viimeisimpänä moderneissa konttiterminaaleissa on automatisoitu laiturinostureiden toimintaa. Suurimmassa osassa moderneja konttiterminaaleja laiturinostureita operoidaan kuitenkin vielä etäohjauksella (ITF 2021).

Martín-Soberón ym. (2014) mukaan maailman ensimmäisessä kokonaan automatisoidussa konttiterminaalissa, Rotterdamin satamassa sijaitsevassa ECT Delta SeaLand -terminaalissa, AGV:t ja automaattiset konttien pinoamisnosturit (engl. *Automated Stacking Crane, ASC*) otettiin käyttöön jo vuonna 1993. ASC:nä vertikaalisissa kuljetuksissa konttikentällä operoivat automaattiset ja miehittämättömät RMG:t (Jobran & Kara 2022). Au-

tomatisoitujen terminaalien määrä on kuitenkin kasvanut merkittävästi vasta 2010-luvun alkupuolelta lähtien, ja esimerkiksi vuosien 2012–2021 välillä otettiin käyttöön 47 osittain tai kokonaan automatisoitua terminaalia (Knatz ym. 2022). Automatisoitujen terminaalien määrän nopeaa kasvua 2010-luvun alkupuolella voidaan selittää osin laitteiden standardoinnilla sekä automaatiokustannusten laskulla (Notteboom ym. 2022). Knatzin ym. (2022) mukaan vuoden 2022 alussa maailmassa oli 63 osittain tai kokonaan automatisoitua konttiterminaalia, joista suurin osa sijaitsee pääasiassa Tyynenmeren Aasiassa ja Euroopassa tärkeimpien itä-länsi kauppareittien terminaaleissa. Kokonaan tai osittain automatisoitujen terminaalien määrä kasvaa koko ajan teknologian kehittyessä. Yli puolet automatisoiduista terminaaleista toimii satamissa, joihin saapuu yli 20 000 TEU:n konttialuksia. Aluskoon kasvu on yksi automaation tärkeimmistä ajureista ja siksi automatisoidut terminaalit ovatkin suunniteltu pääasiassa erittäin suurten konttialusten vastaanottamiseen. (Knatz ym. 2023.) Tästä syystä esimerkiksi Suomen verrattain pienet konttisaatat eivät ole kovinkaan pitkälle automatisoituja, sillä Suomen satamiin saapuu pienempiä feeder-liikenteen aluksia. Maailmanlaajuisesti konttiterminaalien automatisointiaste on vielä alhainen. ITF:n (2021) mukaan noin neljä prosenttia maailman kokonaisterminaalikapasiteetista on kokonaan tai osittain automatisoitu. Rodriquen ja Notteboomin (2021) mukaan automatisoitujen konttiterminaalien osuus on noin seitsemän prosenttia.

4.1.2 Konttiterminaalitoimintojen automatisointi käytännössä

Rodriquen ja Notteboomin (2021) mukaan automaatio voidaan toteuttaa millä tahansa konttiterminaalien neljästä päätoiminnoista. Konttiterminaaleissa automatisoitavat toiminnot ja niissä tavallisesti hyödynnetyt automaatioteknologiat on koottu taulukkoon 5.

Taulukko 5 Terminaalitoimintojen automatisointi (Heiling & Voß 2017; Rodrique & Notteboom 2021; Knatz ym. 2022)

Terminaalitoiminto	Automaatioteknologia
Aluksesta maihin siirrot	Etäohjattava laiturinosturi (QC), ASSC
Horizontaalinen kuljetus (konttien kuljetus laiturin ja konttikentän välillä)	AGV, miehittämätön terminaalitraktori, matala lukki, nosto-AGV
Vertikaalinen kuljetus (konttien pinoaminen konttikentällä)	ASC: ARMG/ARTG, AutoStrad
Pottitoiminnot	AGS: OCR, RFID

Täysin ilman ihmisen kontrollia operoivia laiturinostureita ei tiedettävästi ole vielä missään konttiterminaalissa maailmalla. Sen sijaan yleensä puhuttaessa automaattisista STS-

nostureista (engl. *Automated Ship-to-Shore Crane, ASSC*) tarkoitetaan etäohjauksen avulla ohjattavia nostureita, joissa kuitenkin hyödynnetään apuna automaatiota. ASSC:t toimivat suurimman osan syklistä automaattisesti, mutta ihmisen kontrollia tarvitaan esimerkiksi kontin nostamiseen aluksesta tai kontin sijoittamisessa aluksen ruumaan. Automaattisten, etäohjauksella toimivien laiturinostureiden käyttöönottoa on vauhdittanut etenkin konttialusten koon kasvaminen. (Knatz ym. 2022.) Esimerkiksi Hampurin satamassa HHLA:n terminaalissa käytetään ASSC-nostureita, jotka operoivat suurimman osan ajasta täysin automaation avulla (Port Technology 2023). Lisäksi automaattiset kiinnitysjärjestelmät pystyvät nopeasti kiinnittämään ja irrottamaan aluksen, mikä yhdessä ASSC:n kanssa parantaa alusten läpimenoaikaa (Notteboom ym. 2022).

Konttiterminaalialueella laiturin ja konttikentän välisen horisontaalisen kuljetuksen automatisoinnissa käytetään yleisimmin miehittämättömiä terminaalitraktoreita ja AGV-ajoneuvoja. Uusimman sukupolven AGV-ajoneuvoja ohjaa GPS-teknologia ja ne ovat akkukäyttöisiä, jolloin ne eivät aiheuta lainkaan hiilidioksidipäästöjä, ja samalla myös niiden melutaso on alhainen. (Rodrique & Notteboom 2021.) AGV:t, miehittämättömät terminaalitraktorit sekä matalat lukit (engl. *low height straddle carrier*) kuljettavat kontteja laiturinosturin luota konttikentälle automatisoidun pinoamisnosturin luokse ja päinvastoin. Rotterdamin APM terminaalissa taas käytetään niin sanottuja nosto-AGV:tä (engl. *lift AGVs*), jotka voivat horisontaalisen kuljetuksen lisäksi myös itse nostaa ja pinoata kontteja. (Knatz ym. 2022.)

Automaattiset pinoamisnosturit, ASC:t, ovat laajalti käytössä konttikentällä konttien vertikaalisissa kuljetuksissa, ja ne ovat yleensä suunnattu kohtisuoraan laituriin nähden. ASC on tavallisesti automatisoitu tai etäohjauksella toimiva RMG (engl. *Automated Rail-Mounted Gantry Crane, ARMG*) tai RTG (engl. *Automated Rubber-Tired Gantry Crane, ARTG*), joka pystyy automaattisesti nostamaan kontteja konttikentällä oikeisiin konttipinoihin. (Knatz ym. 2022.) Kuva automaattisista pinoamisnostureista (ASC) löytyy tämän tutkielman liitteestä 9. Esimerkiksi DP Worldin London Gateway -terminaalissa operoi 60 ASC:tä (Port Technology 2018). Hampurin Alterwender terminaalissa taas kaksi ASC:tä pystyy operoimaan samaa konttipinoa, sillä toinen ASC-nostureista mahtuu kulkemaan toisen alta. Automatisoitua lukkia (engl. *AutoStrad*) voidaan niin ikään käyttää konttien siirtämisessä laiturilta konttikentälle tai konttikentältä kuorma-auton kyytiin (Knatz ym. 2022). Konttikentän automatisointi edellyttää tarkkoja konttien sijainnin määrittämissä järjestelmiä, joiden avulla kaikkien terminaalissa olevien konttien sijainti tiedetään

milloin tahansa antureiden avulla. Tämä mahdollistaa konttien tehokkaan hallinnan, jolloin ne voidaan tarvittaessa nopeasti hakea alukseen lastattaviksi tai noutaa edelleen sisämaan- tai sisävesijakelua varten. (Notteboom ym. 2022.)

Konttiliikenne konttiterminalien sisään- ja uloskäyntiporteilla on kasvanut huomattavasti alusten koon ja lukumäärän kasvun vuoksi (Knatz ym. 2022). Konttiliikenteen lisääntyminen johtaa terminalin porteilla pitkiin kuorma-autojonoihin, mikäli porttien toiminnan tehokkuutta ei lisätä. Tämän seurauksena konttiterminalin palvelujen taso laskee ja kuorma-autot joutuvat odottamaan pitkään konttien luovutusta ja noutoa. Palvelutasoa voidaan parantaa merkittävästi nykyisiä teknologioita soveltamalla ja erilaiset tunnistustekniikat ovatkin välttämättömiä porttitoimintojen automatisoinnissa. Automaattinen järjestelmä pystyy tunnistamaan kuorma-autot ja kontit sekä antamaan kuljettajille nopeasti ohjeita. Automaattisilla porteilla sisään- ja uloskäyntien yhteydessä käytettävät OCR- ja RFID-tunnistustekniikat ovat satamaoperaattoreiden keskuudessa laajalti hyväksytyjä niiden kustannustehokkuuden ja suorituskyvyn osalta. (Chao & Lin 2017.)

Terminalin portit käsittelevät maalta saapuvia ja lähteviä rahtivirtoja. Sen vuoksi on tärkeää, että ajoneuvojen ja konttien liikkeitä koskevat tiedot kirjataan ja tarkistetaan käyttämällä porttijärjestelmiä, jotka on integroitu konttiterminalin TOS-järjestelmään. Konttiterminalin automaattiset porttijärjestelmät (engl. *automated gate systems, AGS*) integroivat varsinaiset fyysiset portit sekä liikenneväylät ja -valot. AGS-järjestelmät pystyvät OCR- ja RFID-tunnistustekniikoita hyödyntämällä automaattisesti tunnistamaan ajoneuvot, kuljettajat sekä konttien tiedot sekä tarkistamaan asiaankuuluvat luvat TOS-järjestelmästä, kuten kuorma-auton kuljettajan oikeudet saapua terminaliin tai poistua sieltä tietyn kontin kanssa. (Heiling & Voß 2017.) Lisäksi AGS-järjestelmät käsittelevät tarvittavat asiakirjat sähköisesti ennen konttien noutoa tai luovutusta digitalisoimalla tuliprosessit. OCR- ja RFID-tekniikoiden avulla skannataan ja tunnistetaan terminalista lähtevät tai sinne saapuvat kontit sekä ohjataan kuorma-autojen kuljettajat oikeaan paikkaan kontin lastaamista tai purkamista varten. Lisäksi AGS-järjestelmät kattavat yleensä myös konttien vaurioiden tarkastusjärjestelmät, jossa voidaan hyödyntää OCR-tekniikkaa. Edellä mainitut toimenpiteet parantavat sekä porttitoimintojen tehokkuutta että samalla myös turvallisuutta. Kokonaisuudessaan täydellinen porttiautomaatiojärjestelmä koostuu useista osajärjestelmistä, jotka on suunniteltu konttien, kuljettajien ja ajoneuvojen tunnistamiseen, tallentamiseen ja tärkeiden tietojen välittämiseen. AGS-järjestelmät ovat siis tehostaneet huomattavasti konttiterminalin pullonkauloinkin pi-

dettyjä porttitoimintoja tehostamalla terminaalialueelle saapumista ja sieltä lähtemistä sekä vähentämällä virheitä ja paperityötä. (Notteboom ym. 2022.) Joissakin konttisatamissa hyödynnetään myös itsepalvelupisteitä, joissa kuorma-auton kuljettaja voi itse syöttää tarvittavat tiedot järjestelmään. Tämän on huomattu vähentävän työmäärää ja käsittelyaikaa sekä johtaneen terminaalitoiminnan tehostumiseen. (Heiling & Voß 2017.)

Konttiterminaalien alueella sijaitsevien nostureiden, konttikentällä operoivien lastinkäsittelylaitteiden sekä porttitoimintojen automatisoinnin lisäksi automaatiota ja robotiikkaa voidaan hyödyntää konttiterminaalissa droonien eli kauko-ohjattavien miehittämättömien ilma-alusjärjestelmien käytössä (Inkinen ym. 2021). Integroimalla droonit IoT-teknologiaan, niiden avulla voidaan tehokkaasti havainnoida ympäristöä. 5G-teknologia mahdollistaa droonien ja kameroiden lähettämien kuvien ja tietojen käsittelyn reaaliajassa. Taulukkoon 6 on koottu droonien tyypillisimmät käyttökohteet konttisataman alueella.

Taulukko 6 Droonien hyödyntäminen konttiterminaalialueella (The Maritime Executive 2018; de la Peña Zarzuelo ym. 2020; Inkinen ym. 2021)

Droonien käyttökohteet konttisataman alueella
QC:n ja muiden fyysisten satamainfrastruktuurien kunnon tarkastukset, valvonta sekä huolto
Alusten kunnon tarkastaminen
Aluksesta maihin tai päinvastoin suuntautuvien tarvikkeiden, kuten pienten varaosien tai asiakirjojen toimittaminen
Terminaalien yleisen turvallisuuden valvominen
Ilmanlaadun ja muiden ympäristömuuttujien testaaminen ja mittaaminen
Epäsäännöllisten tilanteiden, kuten tulipalojen, öljyvuotojen tai vedenpilaantumisen havaitseminen
Vahinkojen raportoiminen onnettomuuksien ja vaaratilanteiden osalta

Kuten taulukosta 6 huomataan, drooneja hyödynnetään laajasti erilaisiin tarkoituksiin, kuten satama-alueen turvallisuuden, ilmanlaadun ja epäsäännöllisten tilanteiden sekä fyysisten infrastruktuurien valvontaan (The Maritime Executive 2018; de la Peña Zarzuelo ym. 2020; Inkinen ym. 2021). Drooneja lennätetään jo ainakin Singaporen, Rotterdamin, Hampurin ja Antwerpenin kaltaisissa satamissa (de la Peña Zarzuelo ym. 2020.)

4.1.3 TOS-järjestelmä automatisoidussa konttiterminaalissa

Vaikka tämä tutkimus keskittyykin konttiterminaalien fyysisten koneiden ja laitteiden automatisointiin, on kuitenkin syytä tehdä lyhyt katsaus TOS-järjestelmään (engl. *Terminal Operatin System*). Kuten aiemmin esitetystä taulukosta 5 havaitaan, automatisoidussa konttiterminaalissa konttien fyysisestä käsittelystä vastaavat pääasiassa etäohjauksella

toimivat laiturinosturit, AGV:t sekä ARMG:t ja ARTG:t, joita voidaan kaikkia kutsua yleisesti konttien käsittelylaitteiksi (engl. *Container Handling Equipment, CHE*). Automaattiset CHE:t ovat riippuvaisia niiden sisäisistä ohjausjärjestelmistä, joka ohjaa niiden toimintaa, sekä tieto- ja viestintäteknikasta, joka välittää ohjeita ja päivityksiä niitä hallinnoivaan TOS-järjestelmään. Konttien ja CHE:n sijainnin seurantaan käytetään OCR-, RFID- ja GPS-järjestelmiä, joiden toiminta perustuu tieto- ja viestintäteknikkaan. (Beaumont 2018.)

Tietojärjestelmiä, jotka tukevat konttiterminaalitoimintaan liittyviä suunnittelu- ja hallintatoimia, kutsutaan yleisesti TOS-järjestelmiksi (Heiling & Voß 2017). TOS on siis monimutkainen sovelluskokonaisuus, joka ylläpitää tietokantoja kaikista konttien sijainneista. Se on verkotettu kaikkiin tiedonkeruulaitteisiin, kuten OCR-, RFID- ja GPS-järjestelmiin siten, että se voi ohjata konttien kulkua konttiterminaalien läpi mahdollisimman tehokkaasti. (Hervás-Peralta ym. 2019.) TOS-järjestelmä on siis ikään kuin automatisoidun konttiterminaalien aivot ja eräänlainen konttiterminaalien toiminnan keskipiste. Sen tehtävänä on suunnitella, järjestellä ja ohjata jokaisen kontin siirto tavalla, joka optimoi tilankäytön, minimoi aluksen satamassaoloajan, konttien odotusajan sekä kuorma-autojen ja junien odotusajan. TOS-järjestelmä sulauttaa useita tietovirtoja, robotiikkaa, tekoälyä, IoT-teknologiaa sekä autonomisia ajoneuvoja ohjaamaansa prosessiin. (Beaumont 2018.) Automatisoitujen konttiterminaalien lisäksi TOS-järjestelmää hyödynnetään myös perinteisen, manuaalisen konttiterminaalien toiminnassa.

4.2 Automaation ajurit ja hyödyt konttiterminaleissa

Päätös tietyn konttiterminaalitoiminnan automatisoinnista on yleensä seurausta useiden ajureiden eli odotettujen hyötyjen sekä toteutuneiden hyötyjen monimutkaisesta vuorovaikutuksesta (Knatz ym. 2023). Yleisesti tunnistettuja konttiterminaalien automatisointia edistäviä tekijöitä ovat operatiivisen tehokkuuden ja tuottavuuden lisääntyminen, kustannusten väheneminen sekä turvallisuuden ja ympäristön kestävyuden parantaminen. (Kon ym. 2020; Knatz ym. 2023.)

4.2.1 Operatiivisen tehokkuuden ja tuottavuuden näkökulma

Automaattisoidun terminaalien tehokkuus ja tuottavuus ovat korkeammat verrattuna perinteisiin konttiterminaleihin. Satamaoperaattorit odottavat tuottavuuden lisääntyvän jopa 25–50 prosenttia automaation käyttöönoton yhteydessä (Knatz ym. 2023). Automaati-

tion todelliset operatiivisen toiminnan tehokkuushyödyt eivät kuitenkaan liity nopeampaan lastinkäsittelyyn (Rodrique & Notteboom 2021). Toiminnan tehostuminen ja sitä kautta tuottavuuden lisääntyminen johtuvat pääasiassa epävarmuuden poistamisesta sekä organisoidummasta, vakaammasta ja ennustettavammasta toiminnasta, jolla voidaan ehkäistä konttiterminaalien suorituskyvyn vaihtelut (Martín-Soberón ym. 2014). Terminaalit odottavat kuitenkin hyötyvänsä myös automaation mukanaan tuomista toimintojen nopeudesta ja luotettavuudesta, kuten esimerkiksi kuorma-autojen kääntymisajan parantumisesta tai konttien tehokkaammasta käsittelystä. Lisäksi konttiterminaalitoimintojen automatisoinnin avulla voidaan lyhentää ajoneuvojen ja muiden lastinkäsittelylaitteiden kokonaismatka-aikaa konttiterminaalien alueella sekä integroida ajoneuvojen ja muiden lastinkäsittelylaitteiden aikataulutuksen ja konttikentän varastointisuunnitelman, joka minimoi tehottomuusongelmaa ja lisää tuottavuutta vähentäen alusten satamassaoloaikaa. (Knatz ym. 2023.) Automaation mahdollistaman tehokkuuden ja tuottavuuden lisääntymisessä on niin ikään kyse vakauden ja operatiivisen suorituskyvyn johdonmukaisuuden saavuttamisesta, mikä vähentää ulkoisista tekijöistä, kuten sääolosuhteista, johtuvia seisokkeja konttiterminaalien toiminnassa (Rodrique & Notteboom 2021). Konttiterminaalien automatisointi auttaa siis välttämään tuottavuuteen ja kannattavuuteen oleellisesti vaikuttavia odottamattomia keskeytyksiä (Jobran & Kara 2022).

Tehokkuuden ja tuottavuuden näkökulmasta konttiterminaalitoimintojen automatisointi parantaa myös käytettävissä olevan terminaalien maa-alueen tuottavuutta ja auttaa selviytymään rajallisesta maa-alasta sekä sen mukanaan tuomista rajoituksista. Toisin sanoen konttiterminaalien automatisointi siis mahdollistaa terminaalitilan tiheimmän käytön. Konttiterminaalissa rajallisen maa-alueen ongelmaa esiintyy etenkin konttikentällä. Automaation avulla kontteja voidaan kuitenkin pinota tiheimmin, joka mahdollistaa maa-alueen tehokkaamman käytön lisäksi niin ikään tehokkaamman konttivirran koko terminaalijärjestelmässä. (Knatz ym. 2023.) Konttiterminaalit, joilla on vakavia ongelmia maa-alueen saatavuudessa, ovat yleensä halukkaampia investoimaan automaatioon (Rodrique & Notteboom 2021). Konttiterminaalien pinta-alan voidaan odottaa tulevaisuudessa pienenevän, mikäli automaatiosta tulee hallitseva tekijä konttiterminaalien kehityksissä, koska tällöin sama tai suurempi liikennemäärä voidaan käsitellä pienemmällä maa-alueella (Notteboom ym. 2022).

4.2.2 Kustannustehokkuuden näkökulma

Automatisoinnilla on mahdollista leikata käyttökustannuksia (OPEX) noin 25–55 prosenttia. Kaikissa automaatiohankkeissa ei kuitenkaan saavuteta säästöjä kokonaiskustannuksissa, ja käyttökustannusten väheneminen onkin yleensä odotettua pienempää. (Rodrique & Notteboom 2021.) Automaation on usein väitetty vähentävän terminaalitoimintojen kustannuksia käsiteltyä yksikköä, esimerkiksi TEU, kohden. Mikäli konttiterminaalissa ei kyetä saavuttamaan lastinkäsittelyssä suurta toistuvuutta ja ennustettavuutta sekä vähäistä lastimäärän vaihtelua, nousevat lastinkäsittelykustannukset yksikköä kohti automatisoiduissa konttiterminaleissa perinteisiä konttiterminaleja korkeammiksi (Knatz ym. 2023).

Toinen kustannustehokkuuteen liittyvä automaation ajuri, ja joita automaation avulla voidaan pyrkiä vähentämään, ovat korkeat työvoimakustannukset eli esimerkiksi työntekijöiden palkat, bonukset ja etuudet (Knatz ym. 2023). Automatisoidut konttiterminaalit vähentävät huomattavasti työvoimariippuvuutta ja -kustannuksia (Kon ym. 2020). Työvoimakustannusten osuus perinteisessä, ei-automatisoidussa terminaalissa, voi olla jopa 50 prosenttia ja automaation hyödyntäminen johtaakin yleensä alhaisempiin työvoimakustannuksiin (Notteboom 2018). Lisäksi automaatio vähentää työvoimaan liittyviä epävarmuustekijöitä, jotka voivat liittyä esimerkiksi sairauspoissaoloihin, lakkoihin tai työaikaa ja ylityötä koskevaan työaikalainsäädäntöön. Miehitämättömillä terminaalitoiminoilla voidaan lisäksi välttää myös työvoiman koulutustarve ja työvuoronvaihdosten sekä taukojen aiheuttama joutoaika, jolloin koneet ja laitteet seisovat. (Knatz ym. 2023.) Konttiterminaalitoimintojen automatisointi siis siirtää kustannusrakennetta työvoimavaltaisemmasta rakenteesta kohti pääomakustannusvaltaisempaa kustannusrakennetta vähentäen työvoimakustannuksien osuutta kokonaiskustannuksista sekä manuaalisesti suoritettavan työn aiheuttamaa epävarmuutta (Rodrique & Notteboom 2021).

4.2.3 Ympäristöystävällisyyden näkökulma

Ympäristön kestävyuden sekä ympäristöystävällisyyden parantaminen ovat myös yleisesti tunnistettuja automaation ajureita. Konttiterminaalitoimintojen automatisointi tarjoaa mahdollisuuksia pienentää terminaalin ympäristöjalanjälkeä vähentämällä energiankulutusta ja hiilidioksidipäästöjä (CO₂). (Knatz ym. 2023.) Konttiterminaalitoimintojen energiasäästöt saavutetaan yleensä optimoimalla konttien horisontaalinen ja vertikaalinen

kuljetus sekä nostureiden käsittelyaika ja niiden kulkema matka per käsitelty yksikkö (Notteboom ym. 2022). Lisäksi niin ikään sähkö- ja hybridivoimalähteiden hyödyntäminen dieselmoottorin sijasta lastinkäsittelylaitteissa edistää energiansäästöjä ja vihreän sataman kestävyyttä sekä mahdollistaa ilmastonmuutoksen vaikutuksen minimoinnin. Automatisoinnin seurauksena lastinkäsittelylaitteet voivat saavuttaa myös korkeamman toimintatehokkuuden eli ne hoitavat työtehtävänsä nopeammin, mikä taas lyhentää alusten satamassaoloaikaa, mikä taas edelleen vähentää hiilidioksidipäästöjä sekä säästää energiaa. Sähkö- ja hybridivoimalähteiden hyödyntäminen koneissa ja laitteissa ehkäisee myös melusaasteen syntymistä. (Rodrique & Notteboom 2021.)

IoT-teknologian, kuten antureiden, avulla voidaan säädellä automatisoidun konttiterminaalin valaistusta. Valaistusvaatimuksia voidaan automaattisesti mukauttaa todellisiin sääolosuhteisiin säätilan tai vuorokaudenajan mukaan. Älykkäällä LED-valaistuksella voidaan siis sekä parantaa konttiterminaalin ympäristöystävällisyyttä että säästää valaistuksen aiheuttamissa kustannuksissa. Kokonaisuudessaan energian tehokkaampi hyödyntäminen automatisoidussa konttisatamassa voi vähentää myös satamien ja terminaalien kustannuksia. Energiatehokkuuden avulla automatisoiduissa konttiterminaleissa sama palvelujen laatu voidaan säilyttää käyttämällä vähemmän energiaa pienemmillä kustannuksilla. (Notteboom ym. 2022.)

4.2.4 Turvallisuuden ja turvatoimien näkökulma

Viimeisenä konttiterminaalien automaation ajurina on yleisesti tunnistettu turvallisuuden ja turvatoimien lisääntyminen. Raskaiden laitteiden ja suuren työmäärän vuoksi konttiterminaalissa tapahtuvat onnettomuudet voivat olla erittäin vakavia. Konttiterminaalit ovatkin paikkoja, joissa etenkin ihmisten toiminnasta, kuten väsymyksestä, huolimattomuudesta ja sääntöjen tai määräysten rikkomisesta johtuvia turvallisuusonnettomuuksia tapahtuu paljon. Automaatiolla voidaan kuitenkin vähentää onnettomuuksien määrää merkittävästi. Miehittämättömät, valvomoista etäyhteydellä ohjattavat, tai vaihtoehtoisesti täysin automaattisesti toimivat lastinkäsittelylaitteet vaativat vähemmän satamatyöntekijöitä, ja näin ollen pienempää kokonaisaltistusta turvallisuusriskeille sekä inhimillisille virheille. (Knatz ym. 2023.) Automaattiset terminaalit siis parantavat työturvallisuutta erottamalla työvoiman eli ihmiset ja koneet toisistaan. Automatisoiduissa konttiterminaleissa on tavallisesti eroteltu automaattisesti operoivien koneiden alue sekä alueet, joilla ihmiset työskentelevät. (Jobran & Kara 2022.) Tämän on huomattu parantavan

konttiterminaalialueen turvallisuutta entisestään automaation vähentäessä ihmisten tarvetta olla vaarallisessa ympäristössä raskaiden konttien ja suurten nosturien lähettyvillä (Knatz ym. 2023).

Automaation seurauksena vähentyneillä onnettomuusluvuilla, ja sitä kautta terminaalien turvallisuuden parantumisella, on lisäksi myös taloudellisia vaikutuksia. Mitä vähemmän terminaalissa tapahtuu onnettomuuksia, sitä alhaisemmat ovat vakuutusmaksut ja korvauskustannukset. (Notteboom ym. 2022.) Automaatioinvestoinnit kulkevat usein myös käsi kädessä esimerkiksi terminaalialueen turvajärjestelmien täydellisen integraation kanssa (Rodrique & Notteboom 2021). Taulukkoon 7 on koottu neljän automaation pääajurin keskeisimmät vaikutukset ja hyödyt konttiterminaaleille.

Taulukko 7 Automaation pääajurit ja keskeisimmät vaikutukset (Kon ym. 2020; Rodrique & Notteboom 2021; Notteboom ym. 2022; Knatz ym. 2023)

Automaation pääajurit ja niiden keskeisimmät vaikutukset ja hyödyt konttiterminaalille	
Operatiivisen tehokkuuden ja tuottavuuden näkökulma	<ul style="list-style-type: none"> - Tuottavuuden lisääntyminen 25–50 prosenttia - Epävarmuuden ja suorituskyvyn vaihteluiden väheneminen - Nopeampi, ennustettavampi ja luotettavampi terminaalitoiminta - Koneiden ja laitteiden reittien optimointi - Alusten satamassaoloajan lyhentymisen - Käytävissä olevan tilan tehokkaampi hyödyntäminen - Vähemmän vuoronvaihtojen ja taukojen aiheuttamaa seisokkia
Kustannustehokkuuden näkökulma	<ul style="list-style-type: none"> - Käyttökustannusten vähentyminen jopa 25–55 prosenttia - Työvoimakustannusten väheneminen - Työvoimavaltaisuuden korvautuminen pääomakustannuksilla
Ympäristöystävällisyyden näkökulma	<ul style="list-style-type: none"> - Hiilidioksidipäästöjen väheneminen - Sähkö – ja hybriditeknologioiden käyttö - Melusaasteen väheneminen - Kokonaisenergiatehokkuuden lisääntyminen - Pienemmät energiakustannukset ja alhaisempi ympäristöjalanjälki
Turvallisuuden ja turvatoimien näkökulma	<ul style="list-style-type: none"> - Onnettomuuksien väheneminen (henkilö- ja tavaraturvallisuus) - Ihmiset ja koneet operoivat eri alueilla - Alhaisemmat vakuutusmaksut ja korvauskustannukset - Turvajärjestelmien integraatio

Edellä esiteltyjen neljän automaation pääajurin lisäksi automaation ajureina toimii myös joukko muita tekijöitä, jotka on esitelty lyhyesti seuraavassa luvussa 4.2.5.

4.2.5 Muut automaation ajurit

Eräs automaation implementoinnin keskeinen ajuri konttiterminaalissa on satamaoperaattoreiden motivaatio tehokkuuden ja tuottavuuden lisäämiseen konttiterminaalissa konttialusten koon kasvun ja sitä kautta konttien määrän ja niiden läpimenon lisääntymisen seurauksena. Terminaalien automatisointi voi siis motivoida varustamoja käymään automatisoiduissa konttisatamissa suuremmilla konttialuksillaan. Tämä johtuu siitä, että automatisoidut terminaalit pystyvät yleensä tarjoamaan suuremman kapasiteetin, mikä mahdollistaa varustamojen resurssien tehokkaamman käytön. Lisäksi automaation mahdollistama konttiterminaalien ympärivuorokautinen toiminta kaikissa sääolosuhteissa sekä kyky täyttää varustamoiden terminaalitoiminnalle asettamat suorituskykyindikaattorit ovat tärkeitä automaation ajureita konttiterminaalissa. Nämä edellä mainitut ajurit parantavat merkittävästi etenkin terminaalien operatiivista tehokkuutta. (Notteboom ym. 2022.)

Satamanpitäjien näkökulmasta automaatiohankkeiden käynnistäminen taas edistää niiden hallinnoiman sataman asemaa älykkäänä satamana (Knatz ym. 2023). Myös satamaoperaattoreiden välinen kilpailu ja kansainvälisen kaupan nopea kehitys ovat toimineet automaation ajureina konttiterminaalissa, sillä satamaoperaattoreiden on parannettava konttiterminaalien tuottavuutta. Konttiterminaalit, jotka hyödyntävät laajasti automaatiota, voivat olla markkinoilla kilpailukykyisempiä tarjoamalla parempaa palvelua sekä kilpailukykyisempiä hintoja. (Kon ym. 2020.)

4.3 Automaatioteknologioiden implementoinnin haasteet

Automaation tuomien lukuisten hyötyjen lisäksi sen implementointi konttiterminaalien toimintaan aiheuttaa myös lukuisia erilaisia haasteita. Koska automaatio on vielä suhteellisen uusi konttisatamajärjestelmään levinnyt prosessi, sen kaikkia vaikutuksia ja etenkin haasteita ei vielä tunneta kovinkaan laajasti. (Notteboom ym. 2022.) Akateemisesta kirjallisuudesta löytyy kuitenkin jo jonkin verran tutkimusta automaation konttiterminaalille ja sen sidosryhmille mukanaan tuomista haasteista sekä haitoista (Notteboom ym. 2022; Knatz ym. 2022; Knatz ym. 2023). Useat satamaoperaattorit ovat vastahakoisia ja epäroivia automaation implementoinnin suhteen. Sen lisäksi, että automatisointiin liittyvät riskit voivat olla huomattavia, eivät automatisoinnin tuomat tehokkuus- ja tuottavuushyödyt sekä alhaisemmat toimintakustannukset ja ympäristöystävällisyyden sekä turvallisuuden lisääntyminen välttämättä ole täysin ilmeistä. (Notteboom ym. 2022.)

Yksi suurimmista haasteista jo olemassa olevan konttiterminaalien automatisoinnissa on se, miten automatisointiprosessi saadaan vaiheittain sovitettua yhteen jo olemassa olevien toimintojen kanssa. Vanhojen koneiden ja laitteiden poistaminen sekä vastaavien automatisoitujen asentaminen poistettujen tilalle edellyttää tilapäistä konttiterminaalien kapasiteetin ja toiminnan tehokkuuden menetystä. Lisäksi satamaoperaattorin on siirtymäkauden aikana hallinnoitava kahta operatiivista järjestelmää, automatisoitua ja ei-automatisoitua järjestelmää. Terminaalitoimintojen automatisoinnin pitkä testaus- ja käynnistysvaihe, joka voi kestää useita kuukausia, heikentää niin ikään automaation kustannussäästöpotentiaalia. (Notteboom ym. 2022.) Knatzin ym. (2022) mukaan automaatio edellyttää eri teknologioiden monimutkaista vuorovaikutusta ja täydellistä synkronointia sekä laitteistojen ja ohjelmistojen integrointia terminaalitoimintojen kaikilla osa-alueilla. Optimoitimihaasteet ovat merkittäviä etenkin silloin, kun terminaalien automatisointiin liittyy sekä perinteisempiä että uudempia automaatiokomponentteja sekä laitteita eri toimittajilta. Satamaoperaattorit suosivatkin yleensä uuden automatisoidun terminaalijärjestelmän integroimista itse. Jotta automatisoitu konttiterminaalit saavuttaisi täyden potentiaalinsa ja investointi automaation olisi kannattava, myös koko toimitusketjun on oltava luotettava ja tehokas. (Knatz ym. 2023.)

Automaation implementointi terminaalitoimintoihin aiheuttaa niin ikään epäsynkronisuutta, koska automaation implementointia ei välttämättä toteuteta samaan tahtiin kaikilla terminaalien osa-alueilla tai toimintayksiköissä. Esimerkiksi porttitoimintojen automatisointi ja sitä kautta porttitoimintojen tehostuminen voi aiheuttaa paineita konttikentän toiminnolle. Konttikentällä ei siis välttämättä pystytä käsittelemään kontteja automatisoitujen porttien näkökulmasta tarpeeksi nopeasti, ja näin ollen automaation kokonaispotentiaali jää saavuttamatta. Myös konttikentän automatisointi voi aiheuttaa esimerkiksi ruuhkia terminaalien portille, mikäli porttitoimintoja ei ole automatisoitu eivätkä ne siten kykene toimimaan riittävän tehokkaasti konttimäärään nähden. Edellä minituista syistä automaation vaikutusta koko terminaalitoimintaan on harkittava huolellisesti ja automaatiota tulisikin hyödyntää usealla eri konttiterminaalien toiminta-alueella parhaan mahdollisen lopputuloksen saavuttamiseksi. (Notteboom ym. 2022.)

Terminaalitoimintojen automatisointi edellyttää myös huomattavia pääomasijoituksia (CAPEX) uusiin teknologioihin, laitehankintoihin ja muihin tarvittaviin terminaalimutoksiin sekä henkilöstön kouluttamiseen (Martín-Soberón ym. 2014). Knatzin ym. (2022) mukaan satamaoperaattoreilla kestää keskimäärin noin 6 vuotta tai enemmän, ennen kuin

he saavuttavat investoinnin tuoton (engl. *return on investment, ROI*), joten automatisointi edellyttää niin ikään pitkää sitoutumista. Korkeiden pääoma- ja investointikustannusten vuoksi läheskään kaikilla satamilla ja satamaoperaattoreilla ei myöskään ole taloudellista mahdollisuutta toteuttaa automaatiohankkeita etenkin heikommin kehittyneissä maissa tai maissa, joissa konttivolyymit ovat suhteellisen pieniä. (Behdani 2023).

Terminaalitoimintojen automatisointi voi aiheuttaa niin ikään häiriöitä nykyisiin työsuhteisiin tai työtapoihin. Erikoistunutta ja monitaitoista työvoimaa on rekrytoitava samalla, kun automatisointi voi aiheuttaa työvoimakonflikteja, sillä toimintojen automatisointi johtaa yleensä työpaikkojen vähenemiseen. (Martín-Soberón ym. 2014.) Ammattiliitot ja -yhdistykset ovatkin erityisen vaikutusvaltaisessa asemassa satamissa ja ne voivat olla usein vastahakoisia automaation toteuttamisen suhteen. Siksi automaatio voidaan ottaa käyttöön vasta, kun ammattiliittojen kanssa on päästy sopimukseen tai, kun työpaikat eivät ole vaarassa. Satamaoperaattoreiden halukkuus investoida terminaalitoimintojen automaatioon liittyykin osittain siihen, että ne katsovat saavuttavansa kustannussäästöjä työntekijätasolla. Mikäli työvoiman vähentäminen ei ole mahdollista satamatyövoiman työllistämisyjärjestelmän puitteissa, ei satamaoperaattori todennäköisesti ole yhtä innokas automatisoimaan satamatoimintoja. (Rodrique & Notteboom 2021.)

Kyberturvallisuushkat ovat lisääntyneet merkittävästi satama 4.0:n aikakaudella teknologian ja digitalisaation yleistyessä. Automaation laaja hyödyntäminen konttiterminaalitoiminnoissa tuo luonnollisesti mukanaan myös kyberturvallisuushkia, sillä se perustuu moniin ohjausjärjestelmiin konttiterminaalien toiminnan hallitsemiseksi sekä monimutkaisiin verkkoihin, tekoälyyn ja IoT-teknoologiaan, jotka on integroitu ja kytketty valvomoon. (de la Peña Zarzuelo 2021.) Automatisoidussa konttiterminaalissa fyysisen turvallisuuden parantamiseen tähtäävät toimet, kuten automaattiset porttitoiminnot, RFID, verkottunut anturiteknologia sekä valvontakamerajärjestelmät ovat toisaalta parantaneet konttiterminaalien kokonaisturvallisuutta, mutta myös lisänneet kyberturvallisuushkia. Edellä mainitut verkottuneet järjestelmät ja turvatekniikat ovatkin yleisiä kyberhyökkäysten kohteita automatisoiduissa konttiterminaleissa. Automatisoituihin konttiterminaleihin kohdistuvien kyberhyökkäysten seuraukset vaihtelevat sosiaalisista vaikutuksista, kuten salakuljetuksen helpottumisesta, aina konttiterminaalien täydellisen sulkemisen taloudellisiin vaikutuksiin. Kyberriskien hallinnassa onkin erityisen olennaista keskittyä järjestelmien ja verkon käytettävyyteen, eheyteen sekä luottamuksellisuuteen. (Beaumont 2018.)

Automatisoiduilla konttiterminaaleilla on lisäksi vaikeuksia käsitellä kontteihin liittyviä ainutlaatuisia skenaarioita tai poikkeustilanteita. Tällaisia ovat esimerkiksi erikoiskontit, kuten standardimittaista suuremmat tai pienemmät kontit, avokontit sekä epätyypillisen painoiset kontit. Kun tällaisia poikkeustapauksia ilmenee, tarvitaan yleensä manuaalista toimintaa, joka taas vastaavasti keskeyttää automatisoidut toiminnot. (Knatz ym. 2023.) Taulukkoon 8 on koottu yhteenveto automaation haasteista konttiterminaaleissa.

Taulukko 8 Automaation haasteet konttiterminaalissa (Martín-Soberón ym. 2014; de la Peña Zarzuelo ym. 2020; Notteboom ym. 2022; Knatz ym. 2022; Knatz ym. 2023)

Automaation haasteet konttiterminaalissa	
Automaation vaiheittaisen implementoinnin haasteet	<ul style="list-style-type: none"> - Kapasiteetin ja tehokkuuden menetys vanhojen koneiden ja laitteiden poistossa ja uusien asennuksessa - Kahden järjestelmän (manuaalinen ja automaattinen) rinnakkaishallinnointi siirtymävaiheessa - Pitkä, useiden kuukausien testaus- ja käynnistysaika heikentää kustannussäästöpotentiaalia
Korkeat alkuinvestointikustannukset	<ul style="list-style-type: none"> - Merkittävät pääomasijoitukset uusiin teknologioihin sekä laitehankintoihin - ROI:n saavuttaminen voi kestää noin 6 vuotta - Pienet volyymit ja rajalliset resurssit rajoittavat automaatiohankkeita
Vaikutus työvoimaan	<ul style="list-style-type: none"> - Häiriöt nykyisissä työsuhteissa ja työtavoissa - Työpaikkojen väheneminen voi aiheuttaa konflikteja ja vastarintaa ammattiliitoilta ja -yhdistyksiltä - Monitaitoisen ja erikoistuneen työvoiman rekrytoinnin tarve - Työvoiman vähentäminen ei aina ole mahdollista työllistämiskäytännöistä johtuen
Poikkeustilanteiden hallinta	<ul style="list-style-type: none"> - Automatisoiduilla järjestelmillä vaikeuksia käsitellä erikoiskontteja ja muita poikkeustapauksia - Manuaalisen toiminnan tarve keskeyttää automatisoidut prosessit
Epäsynchronisuus terminaalien eri osa-alueilla	<ul style="list-style-type: none"> - Porttien, konttikentän ja muiden alueiden automaation epäyhtenäisyys voi aiheuttaa pullonkauloja ja ruuhkia - Automaatio ei saavuta täyttä potentiaalia ilman kaikkien alueiden harmonisointia
Kyberturvallisuushkat	<ul style="list-style-type: none"> - Verkottuneet järjestelmät, tekoäly ja IoT ovat alttiita kyberhyökkäyksille - Kyberhyökkäyksen seurauksena mahdolliset sosiaaliset ja taloudelliset vaikutukset

5 Empiirisen tutkimuksen toteutus

5.1 Tutkimusmenetelmän kuvaus

Tämä pro gradu -tutkielma on toteutettu kvalitatiivisena eli laadullisena tutkimuksena. Laadullinen tutkimus on erityisen merkityksellinen tutkimusmenetelmä silloin, kun aiemmat tutkimukset tai tietotaso tutkittavasta ilmiöstä ovat vaatimattomia ja vähäisiä. Laadullisella tutkimuksella on siis taipumus olla eksploratiivinen eli sen avulla pyritään löytämään jotain uutta tutkimuskohteena olevasta ilmiöstä. Lisäksi laadullinen tutkimus on yleensä joustava, koska tutkimukseen liittyvät ongelmat ovat yleensä vielä jäsentymättömiä tai strukturoimattomia ilmiön uutuuden vuoksi. Laadullisessa tutkimuksessa pääpaino on siis perustavanlaatuisen tietämyksen ja näkemysten hankkimisessa sekä selitysten rakentamisessa. (Ghauri ym. 2020.)

Laadullinen tutkimusmenetelmä katsottiin parhaaksi tutkimusmenetelmäksi tähän pro gradu -tutkielmaan, koska se mahdollistaa syvällisen tulkinnan ja ymmärryksen tutkittavasta ilmiöstä sekä auttaa huomiomaan monipuolisia näkökulmia, joissa on useita eri tekijöitä. Laadullisen tutkimuksen vastakohtana voidaan pitää määrällistä eli kvantitatiivista tutkimusta, jossa pyritään enemmän tilastolliseen analyysiin sekä testaamaan hypoteeseja ja korostamaan kuvauksia. (Ghauri ym. 2020.) Tässä pro gradu -tutkielmassa ei ole pyritty testaamaan hypoteeseja, vaan syvällisesti tulkitsemaan sekä luomaan kattavasti uutta tietoa tutkimuksen kohteena olevasta ilmiöstä. Lisäksi konttiterminaalitoimintojen ja satama 4.0:n teknologisten innovaatioiden monitutkaisuuden vuoksi laadullinen tutkimus oli sopiva menetelmä tämän tutkimuksen kohteena olevan ilmiön analysointiin. Näistä syistä laadullinen tutkimus sopii määrällistä tutkimusta paremmin tämän tutkimuksen tutkimusmenetelmäksi aihealueen holistisen ja syvällisen ymmärryksen luomiseksi, joka luodaan useiden tietolähteiden avulla. Edellä mainitut ovat keskeisiä laadullisen tutkimuksen ominaispiirteitä. (Eriksson & Kovalainen 2008.)

Perinteisesti tapaustutkimuksessa eli case-tutkimuksessa (engl. *case study research*) käytetään empiirisin menetelmin kerättyä aineistoa yhdeltä tai useammalta organisaatiolta (Ghauri ym. 2020). Tähän pro gradu -tutkielmaan valikoitui tutkimusstrategiaksi tapaustutkimus, sillä tarkoitus oli tutkia syvällisesti muutamaa kohdetta tai ilmiötä, tässä tapauksessa Suomen suurimpia konttisatamia ja niiden automatisointia. Lisäksi tapaustutkimuksen valikoitumista tämän pro gradu -tutkielman tutkimusstrategiaksi tukevat tutkimuksen

ennustava, tulevaisuuteen painottuva näkökulma sekä tutkimuskysymysten asettelu. Tapaustutkimus on yleensä tutkiva, kuvaava tai selittävä ja tutkittavaa ilmiöitä pyritäänkin tyypillisesti tutkimaan, kuvaamaan ja selittämään ”miksi” ja ”miten” -kysymysten avulla. Tapaustutkimuksessa tyypillistä on lisäksi se, että siinä keskitytään nykyaikaiseen, ajan-kohtaiseen ja monimutkaiseen ilmiöön tosielämän kontekstissa. Tapaustutkimuksessa tutkija ei tyypillisesti voi juurikaan vaikuttaa tapahtumien kulkuun tai tutkittavaan ilmiöön. Tutkimusstrategiana tapaustutkimus voidaan kuitenkin toteuttaa useiden eri analyysimenetelmien avulla ja siinä voidaan hyödyntää sekä kvalitatiivisia että kvantitatiivisia tiedonkeruumenetelmiä. Vaikka tapaustutkimus on yleensä luonteeltaan laadullinen tutkimus, joissain tapauksissa myös kvantitatiivista dataa voidaan käyttää tapauksen rakentamiseen. (Ghuri ym. 2020.) Erikssonin ja Kovalaisen (2008) mukaan tapaustutkimus tulisikin ymmärtää tutkimusmenetelmän sijasta pikemminkin tutkimusstrategiana.

Erikssonin ja Kovalaisen (2008) mukaan tapaustutkimusta on kahdentyyppistä. Intensiivisen tapaustutkimuksen (engl. *intensive case study research*) tavoitteena on ymmärtää yleensä vain yhtä ainutlaatuista tapausta sisältäpäin tarjoamalla tiivis, kokonaisvaltainen ja kontekstisidonnainen kuvaus. Laaja tapaustutkimus (engl. *extensive case study research*) taas kehittää, testaa, luo tai laajentaa yleistettävissä olevia teoreettisia konstruktoita vertailemalla useampia eri tapauksia. Tässä pro gradu -tutkielmassa lähestymistavaksi on valittu laaja tapaustutkimus, koska tarkoituksena on tutkia useampaa Suomen konttisatamaa ja luoda jokseenkin yleistettävissä oleva sekä laaja käsitys Suomen konttisatamien automaatioinvestoinneista samalla laajentaen jo olemassa olevaa käsitystä ja tutkimusta aiheesta. Tutkimustuloksia voidaan näin ollen soveltaa ja yleistää myös muihin suurin piirtein samaa kokoluokkaa oleviin konttisatamiin etenkin Itämeren alueella.

Neilimon ja Näsin (1980) esittelemä nelijakoinen tutkimusotteiden luokittelujärjestelmä on liiketaloustieteessä tyypillinen tapa tutkimusotteen tarkastelussa menetelmäluvun yhteydessä. Alkuperäiseen Neilimon ja Näsin tutkimusotteiden nelikenttään kuuluvat tutkimusotteet ovat käsiteanalyttinen (engl. *conceptual approach*), päätöksentekometodologinen (engl. *decision-oriented approach*), nomoteettinen (engl. *nomothetical approach*) ja toiminta-analyttinen (engl. *action-oriented approach*) tutkimusote. Kasanen ym. (1993) ovat myöhemmin täydentäneet Neilimon ja Näsin (1980) tutkimusotteiden nelikenttää lisäämällä viidennen, konstruktivisen tutkimusotteen (engl. *constructive approach*). Tutkimusotteet jaotellaan tiedon tuottamistavan mukaan teoreettiseen (engl. *theoretical*) ja empiriseen (engl. *empirical*) sekä syntyvän tiedon luonteen mukaan

deskriptiiviseen (engl. *descriptive*) eli kuvailevaan tietoon sekä normatiiviseen (engl. *normative*) eli tietyt normit tai standardit asettavaan tietoon, jonka on tarkoitus yleensä auttaa organisaatiota. (Lukka 2001.) Kuviossa 6 on esitelty viisi tutkimusotetta sekä niiden asemoituminen tiedon tuottamistavan sekä tiedon luonteen mukaan.

	Teoreettinen	Empiirinen
Deskriptiivinen	Käsitteanalyttinen tutkimusote	Nomoteettinen tutkimusote Toiminta-analyttinen tutkimusote
Normatiivinen	Päätöksentekometodologinen tutkimusote	Konstruktiivinen tutkimusote

Kuvio 6 Tutkimusotteet (Neilimo & Näsi 1980; Kasanen ym. 1993)

Tutkimusotteiden lyhyen esittelyn jälkeen on syytä pohtia tämän pro gradu -tutkielman sijoittumista kuviossa 6 esitettyyn tutkimusotteiden typologiaan. Tiedon tuottamistavan perusteella tutkimus asemoituu selkeästi empiiriseksi, sillä tutkimusaineisto on kerätty empiirisin menetelmin eli uutta tutkimustietoa tuotetaan empiirisin menetelmin kerätyn aineiston pohjalta. Tutkimuksen asemoituminen syntyvän tiedon luonteen mukaan tutkimusotteiden nelikentällä joko deskriptiiviseen tai normatiiviseen taas ei ole yhtä yksinkertaista, eikä tutkimusta voidakaan täysin yksiselitteisesti asemoida nomoteettiseksi, toiminta-analyttiseksi tai konstruktiiviseksi tutkimukseksi. Tämän tutkimus voitaisiin asemoida suurin piirtein toiminta-analyttisen ja konstruktiivisen tutkimusotteen välimaastoon, koska edellä mainitut tutkimusotteet ovat lähellä toisiaan. Toiminta-analyttisessä sekä konstruktiivisessa tutkimusotteessa tapaustutkimuksen soveltaminen tutkimusstrategiana on yleistä sekä yhteys empiriaan on suora ja konkreettinen. Tämä tutkimus ei kuitenkaan varsinaisesti tuo toiminta-analyttiseen tapaan ihmistä tutkimuksen keskipisteeseen eikä konstruktiiviseen tapaan pyri suoraan tuottamaan innovatiivista konstruktiota alkuperäisen, tosielämän ongelman ratkaisemiseksi. Tällä tutkimuksella on samaan aikaan sekä deskriptiivisiä että normatiivisia piirteitä, joka on tapaustutkimukselle tyypillistä, sillä tutkimus pyrkii samalla sekä kuvailemaan ilmiötä että luomaan mahdollisesti käytännön suosituksia ja informaatiota organisaatioille. Näillä perustein tutkimuksen ase-

moiminen toiminta-analyyttisen ja konstruktivisen tutkimuksen välimaastoon on perusteltua. (Neilimo & Näsi 1980; Kasanen ym. 1993; Lukka 2001.)

5.2 Empiirisen aineiston hankintamenetelmät

Hirsjärven ja Hurmeen (2022) mukaan laadullisessa tutkimuksessa on tyypillistä, että tutkimuskohde valitaan huolellisesti eikä esimerkiksi satunnaisesti. Tutkimuskohteiden suuri joukko ei näin ollen ole laadullisessa tutkimuksessa tarpeellista eikä aina edes mahdollista. Eskolan ja Suorannan (1998) mukaan laadullisessa tutkimuksessa puhutaan aineiston harkinnanvaraisuudesta, ja tällöin tutkimus perustuukin suhteelliseen pieneen tapausmäärään. Yinin (2014) mukaan tutkimuskohteiksi tulisi valita sellaiset organisaatiot, jotka parhaiten tuottavat empiiristä tutkimusaineistoa sekä edustavat tutkittavana olevaa ilmiötä. Aineiston riittävälle määrälle ei myöskään ole yksiselitteistä vastausta ja tutkija itse päättää, milloin aineistoa on kerätty riittävästi. Tässä pro gradu -tutkielmassa Suomen suurimmat konttisatamat sekä niissä toimivat satamaoperaattorit ja -yhtiöt valikoituivat tutkimuskohteiksi, sillä edellä mainituilta on todennäköisimmin saatavilla hyvin tutkimusaineistoa, ja samalla nämä edustavat kattavasti pienempien konttisatamien toimintaa suuremmassakin mittakaavassa, jopa kansainvälisessä kontekstissa.

Sarajärven ja Tuomen (2018) mukaan yleisimmät aineiston hankintamenetelmät laadullisessa tutkimuksessa ovat haastattelut, kyselyt ja havainnointi. Myös Saaranen-Kauppinen & Puusniekka (2006) linjaavat haastattelut suosituimmaksi aineiston hankintamenetelmäksi laadullisessa tutkimuksessa havainnoinnin ohella. Haastattelu on hyödyllinen aineistonhankintamenetelmä silloin, kun tutkimuksessa tarvitaan syvällistä tietoa tutkitavasta aiheesta ja tapauksia pyritään analysoimaan perusteellisesti. Lisäksi haastattelut ovat käytännöllinen, mutta samalla myös tehokas tapa kerätä tietoa tutkitavasta aiheesta, jota ei löydy kirjallisessa muodossa erityyppisistä julkaisuista, kuten esimerkiksi internetistä tai kirjoista. (Eriksson & Kovalainen 2008.) Laadullisessa tutkimuksessa aineiston hankintamenetelmänä käytettävät haastattelut voidaan jakaa avoimeen haastatteluun, puolistrukturoituun haastatteluun sekä strukturoituun haastatteluun sen mukaan, kuinka jäsenneily ja rajattu haastattelu on (Hirsjärvi & Hurme 2022). Strukturoidussa haastattelussa sekä haastattelukysymykset että vastausvaihtoehdot ovat etukäteen jäsenneilyjä. Puolistrukturoidussa haastattelussa taas vain haastattelukysymykset ovat jäsenneily etukäteen, mutta valmiita vastausvaihtoehtoja ei ole. Näin ollen haastateltava voi vastata haastattelukysymyksiin vapaasti omin sanoin. Avoimessa haastattelussa taas ei ole

yleensä tehty etukäteen haastattelusuunnitelmaa ja sitä voidaankin pitää enemmän keskustelun luontoisena tilanteena, jossa haastateltava voi kertoa vapaasti haluamista asioista. Haastattelujen haasteina on etenkin se, että haastateltava voi tulkita kysymyksen eri tavalla kuin haastattelija on sen ajatellut. Lisäksi haastateltavan epäselvä artikulointi tai ennakoasenteet voivat luoda haasteita haastattelulle. (Hirsjärvi & Hurme 2022.) Haastattelut ovat kuitenkin yksi tärkeimmistä tutkimuksessa tarvittavan tiedon keruumenetelmistä, etenkin tapaustutkimuksissa (Yin 2014).

Tämän pro gradu -tutkielman empiirinen aineisto on kerätty puolistrukturoitujen asiantuntijahaastattelujen avulla. Puolistrukturoidussa haastattelussa sekä kysymysten muotoilu että järjestys ovat kaikille haastateltaville likipitään samat (Saaranen-Kauppinen & Puusniekka 2006). Tämän tutkielman yhteydessä joitakin poikkeuksia kysymystenasetteluun tai kysymysten esitysjärjestykseen voi kuitenkin olla riippuen siitä, edustaako haastateltava taho satamayhtiötä vai satamaoperaattoria. Puolistrukturoidun haastattelun ansiosta kysymysten läpikäynti on joustavaa, mikä samalla mahdollistaa tarvittaessa myös jatko- ja lisäkysymysten esittämisen (Eriksson & Kovalainen 2008). Puolistrukturoitu haastattelu sopii tämän tutkimuksen aihealueen tutkimiseen erinomaisesti, sillä haastateltavat tahot todennäköisesti painottavat vastauksissaan eri tavoin kysytyjä asioita. Lisäksi heidän näkökulmansa konttisatamissa hyödynnettävistä automaatioteknologioista ja näkemykset tulevaisuuden investoinneista ja potentiaalista saattavat olla toisistaan eroavia. Haastateltavana olevat henkilöt siis edustavat erilaisia näkemyksiä riippuen siitä, edustavatko he satamaoperaattoreita vai satamayhtiötä. Erilaisten näkemysten lisäksi haastateltavien tulisi tietää mahdollisimman paljon tutkittavasta asiasta eli heidän tulisi olla asiantuntijoita. Puolistrukturoitu haastattelu sopii siis erityisesti tilanteisiin, joissa halutaan tarkasti määriteltyä tietoa tietyistä aiheista. Tällöin haastateltaville ei anneta suurta liikkumavaraa kysymysten suhteen, koska halutaan varmistaa, että keskustelu pysyy tutkimuksen tavoitteiden kannalta olennaisissa aiheissa. Puolistrukturoidun haastattelun haasteena on varmistua siitä, että kaikki oleellinen käydään haastattelussa läpi, minkä lisäksi se vaatii myös etukäteisvalmistautumista haastateltavalta, jotta tämä voi tarvittaessa esittää tarkentavia kysymyksiä. Myös haastattelijan on yleensä oltava valmis esittämään tarkentavia lisäkysymyksiä. Asiantuntijahaastattelun haasteena on myös usein haastateltavien tavoittaminen sekä haastatteluajan varaaminen haastatteluistuntoihin. (Eriksson & Kovalainen 2008.)

Tämän pro gradu -tutkielman yhteydessä toteutetut puolistrukturoidut haastattelut koostuivat 15–16 pääkysymyksestä riippuen siitä, oliko haastateltavana satamayhtiön vai satamaoperaattorin edustaja. Haastattelurungot löytyvät kokonaisuudessaan tämän tutkielman liitteistä 10–11. Varsinaisten haastattelukysymysten lisäksi haastateltavilta kysyttiin tarvittaessa tarkentavia lisäkysymyksiä, joiden määrä riippui haastattelusta. Valmiita vastausvaihtoehtoja ei puolistrukturoidulle haastattelulle tyypilliseen tapaan ollut, vaan haastateltavat saivat vapaasti vastata heille esitettyihin kysymyksiin. Haastattelurunko kysymyksineen toimitettiin haastateltaville etukäteen, jotta heillä oli mahdollisuus perehtyä haastattelun aiheeseen ja teemoihin ennen haastattelua. Haastateltavan mahdollisuus pohdita vastauksiaan jo ennen varsinaista haastattelua voi mahdollistaa syvällisemmät ja kattavammat vastaukset. Taulukkoon 9 on koottu tietoja toteutetuista haastatteluista.

Taulukko 9 Toteutetut haastattelut

Nimi	Organisaatiotyyppi	Pvm	Haastattelun kesto
Haastateltava 1 (H1)	Satamayhtiö	19.11.2024	39 min
Haastateltava 2 (H2)	Satamaoperaattori	22.11.2024	49 min
Haastateltava 3 (H3)	Satamaoperaattori	28.11.2024	51 min
Haastateltava 4 (H4)	Satamaoperaattori	29.11.2024	49 min
Haastateltava 5 (H5)	Satamaoperaattori	2.12.2024	37 min
Haastateltava 6 (H6)	Satamaoperaattori	3.12.2024	50 min

Haastatteluja järjestettiin yhteensä kuusi (6) kappaletta Suomen konttisatamissa toimiville organisaatiolle. Haastattelut toteutettiin etäyhteyden välityksellä marras- ja joulukuun 2024 välisenä aikana. Haastattelut nauhoitettiin haastateltavien luvalla aineiston analysoinnin helpottamiseksi. Haastateltavaksi pyrittiin löytämään konttisatamien tärkeimmistä sidosryhmistä henkilöitä, joilla on syvällistä tietoa ja ymmärrystä konttisatamien ja -terminaalien toiminnoista sekä etenkin automaatioteknologioista ja niihin liittyvistä tulevaisuuden kehityksestä. Haastateltavat löydettiin organisaatioiden omien nettisivujen kautta löytyneiden yhteystietojen avulla. Suurin osa haastateltavista löydettiin niin, että heidän edustamastaan organisaatiosta kerrottiin ensimmäisen yhteydenoton yhteydessä, kuka olisi sopiva henkilö haastateltavaksi ja pyydettiin olemaan kyseiseen henkilöön yhteydessä. Haastateltaviin viitataan empiiristen tutkimustulosten analysoinnin yhteydessä käytettävissä sitaateissa kirjaimen ”H” lisäksi numerolla sen mukaan, kuka haastateltavista on kyseessä. Esimerkiksi ”Haastateltava 3” lyhennetään ”H3”.

5.3 Empiirisen aineiston analysointimenetelmät

Kvalitatiivisessa tutkimuksessa tutkimusaineiston analysoinnin avulla on tarkoitus luoda empiiriseen aineistoon selkeyttä sekä samalla tuottaa uutta tietoa tutkittavasta ilmiöstä. Aineiston analyysin avulla aineiston tuottama informaatio pyritään tiivistämään samalla luoden siitä selkeää ja ytimekästä. (Eskola & Suoranta 1998.) Hirsjärven ja Hurmeen (2022) mukaan kerätyn empiirisen aineiston analysointia ja tulkintaa sekä johtopäätösten tekoa analysoidun aineiston perusteella voidaankin pitää tutkimuksen keskeisimpänä asiana. Aineiston analysointiin ei ole vain yhtä oikeaa tapaa, vaan tutkijalla on vapaus valita sellainen analyysimenetelmä, joka parhaiten auttaa löytämään vastauksen tutkimusongelmaan.

Tässä tutkimuksessa aineiston käsittelyssä, eli nauhoitettujen puolistrukturoitujen asian-
tuntijahaastattelujen valmistelemisessä analyysiä ajatellen, hyödynnettiin litterointia ja koodausta. Litteroinnilla tarkoitetaan nauhoitetun, puhemuotoisen aineiston puhtaaksikirjoittamista. Litteroinnissa haastattelujen avulla kerätty aineisto muokatakaan tekstinkäsittelyohjelmalla helpommin hallittavaan ja analysoitavaan muotoon. (Saaranen-Kauppi-
nen & Puusniekka 2006.) Litteroinnin jälkeen tekstimuotoon muutetut haastattelut koodattiin. Koodauksella tarkoitetaan tässä kontekstissa litteroituun aineistoon tehtyjä luokitteluja sekä jäsenteleviä merkintöjä, kuten numerointia, alleviivauksia, kursivointia, erilaisia fontteja tai tekstin maalaamista, joiden avulla tutkija pilkkoo aineiston pienempiin osiin (Eskola & Suoranta 1998). Koodausta käytetään tiettyjen tekstikohtien löytämisen helpottamiseksi. Koodauksessa tutkija siis merkitsee aineistoon tutkimuskysymysten kannalta olennaisia ja merkityksellisiä asioita, joiden avulla tutkimuskysymyksiin voidaan vastata. Koodausyksikköinä voivat olla yksittäiset sanat ja lauseet tai pidemmät tekstikappaleet. (Saaranen & Puusniekka 2006.) Koodaamisen jälkeen aineisto ryhmiteltiin tutkimuskysymysten ja haastattelurungon avulla teemoittain. Tässä tutkielmassa laadullisen aineiston koodaukseen hyödynnettiin NVivo -tietokoneohjelmistoa. Ghaurin ym. (2020) mukaan NVivo on yksi tunnetuimmista laadullisissa tutkimuksissa hyödynnettävistä tietokoneohjelmistoista.

Tämän pro gradu -tutkielman haastatteluaineiston analysoinnissa sovellettiin laajasti sekä teemoittelua että tyypittelyä. Teemoittelu ei sulje pois tyypittelyä, ja usein laadullisissa tutkimuksissa voidaankin yhdistellä erilaisia analysointimenetelmiä. Tyypittely edellyttää kuitenkin aina ensin jonkinlaista teemoittelua ja tyypittelyn käyttäminen viekin ai-

neiston analyysin yleensä hieman pidemmälle. (Saaranen-Kauppinen & Puusniekka 2006.) Teemoittelun avulla tutkimusaineisto jäsenellään keskeisten aihepiirien mukaan, ja aineistosta pyritään löytämään tutkimusongelmaan liittyviä teemoja. Teemoittelussa laadullinen aineisto siis jaetaan osiin ja järjestellään tarkoituksena löytää aineistosta näkemyksiä, jotka kuvaavat tiettyä teemaa, samalla kun verrataan eri teemojen esiintymistä aineistossa. Teemoittelu onkin yleinen laadullisen aineiston analysointitapa käytännölläheisen tosielämän tutkimusongelman ratkaisemisessa. (Eskola & Suoranta 1998.) Teemoittelun jälkeen aineistoa voidaan analysoida tyypittelemällä, jolloin teemojen mukaisesti jäsenellyistä vastauksista muodostetaan havainnollisia tyypejä, ja näin aineisto tiivistetään selkeämpään muotoon (Saaranen-Kauppinen & Puusniekka 2006). Tutkimusaineistosta pyritään siis löytämään sille tyypillisiä ominaisuuksia tai toistuvia teemoja. Eskolan & Suorannan (1998) mukaan tyypittelyllä tarkoitetaan tutkimusaineiston ryhmittelyä tyypeiksi etsimällä aineistosta samankaltaisuuksia.

5.4 Tutkimuksen laadun arviointi

Tutkimuksen laadun arviointi on eräs tutkimusprosessin tärkeimmistä vaiheista. Eskolan ja Suorannan (1998) mukaan laadullisessa tutkimuksessa tutkija joutuu samanaikaisesti analysoimaan tekemiään ratkaisuja sekä ottamaan kantaa analyysinsä laajuuteen ja tekemänsä tutkimuksen luotettavuuteen. Laadullisen tutkimuksen arvioinnissa tulisi lisäksi ottaa huomioon tutkimuksen filosofinen sekä metodologinen tausta. Arviointikriteerien käyttöönotto lisää tutkimuksen avoimuutta ja antaa keinot tuoda esiin tutkimuksen vahvuudet ja rajoitukset. Lisäksi laadullisen tutkimuksen arvioinnin tulisi tapahtua koko tutkimusprosessin aikana, ei vasta prosessin lopussa, koska arviointikriteerit, joita sovelletaan vasta tutkimuksen lopussa, eivät ohjaa tutkimusta sellaiseen suuntaan, joka takaa tutkimuksen hyvän laadun. Siksi onkin tärkeää, että arviointikriteerien valinta on sopu-soinnussa laadullisen tutkimuksen luonteen kanssa sen metodologian, tavoitteiden ja olettusten osalta. (Eriksson & Kovalainen 2008.)

Erikssonin ja Kovalaisen (2008) mukaan reliabiliteetti, validiteetti ja yleistettävyyys muodostavat perinteisen kehyksen tutkimuksen laadun arvioinnille, etenkin kvantitatiivisen tutkimuksen arvioimisessa. Laadullisiin tutkimuksiin erikoistuneet tutkijat sekä laadullisia tutkimuksia käsittelevät menetelmäkirjat ovat sitä mieltä, ettei haastattelujen avulla kerätyn tutkimusaineiston tarkkuutta voida arvioida luotettavasti tutkimuksen klassisilla reliabiliteetin ja validiteetin arviointikriteereillä (Eriksson & Kovalainen 2008). Lincoln

ja Guba (1985) ovat korvanneet kvantitatiivisen tutkimuksen arvioinnissa käytetyt reliabiliteetin ja validiteetin käsitteet rinnakkaisella, kvalitatiivisen tutkimuksen luotettavuuden (engl. *trustworthiness*) arviointiin tähtäävällä konseptilla. Heidän mukaansa laadullisessa tutkimuksessa tutkimuksen laadun arviointi sisältää neljä näkökulmaa, jotka ovat uskottavuus (engl. *credibility*), siirrettävyys (engl. *transferability*), luotettavuus (engl. *dependability*) ja vahvistettavuus (engl. *confirmability*).

Laadullisen tutkimuksen uskottavuutta arvioitaessa on tärkeää, että tutkija on kattavasti perehtynyt aiheeseen (Eriksson & Kovalainen 2008). Tutkimuksen uskottavuutta voidaan arvioida esimerkiksi tarkastelemalla, onko käytettävissä riittävästi dataa laajojen päätelmien tekemiseen, ovatko tutkimuksessa tehdyt havainnot yhteydessä tehtyihin päätelmiin, ja voiko toinen tutkija saavuttaa samankaltaisia tuloksia tai yhtyä tutkijan esittämiin väitteisiin käyttäen samaa tutkimusaineistoa. (Lincoln & Guba 1985.) Tässä tutkimuksessa uskottavuutta on pyritty varmistamaan käyttämällä empiirisen aineiston hankintamenetelmänä puolistrukturoituja asiantuntijahaastatteluja, jotka tuottavat syvällistä ja yksityiskohtaista tietoa tutkittavasta aiheesta. Lisäksi tämän tutkimuksen uskottavuutta puoltaa ainakin osittainen saturaatiopisteen saavuttaminen. Saturaatiopisteen saavuttamista voidaan perustella sillä, että haastattelujen edetessä haastateltavien vastaukset alkoivat olemaan pääpiirteittäin samankaltaisia, eivätkä ne tuottaneet enää merkittävästi uutta tutkimuksen kannalta oleellista tietoa. Tämän perusteella voidaan todeta, että käytettävissä on riittävästi dataa laajojen päätelmien tekemiseen. Tutkimuksen uskottavuutta tukee lisäksi se, että teoreettisen viitekehyksen luomisen perusteena käytetty tutkimuskirjallisuus on valittu huolellisesti ja tutkimuksessa tehdyt havainnot ovat yhteydessä päätelmiin, joita myös tutkimuskirjallisuus tukee.

Laadullisen tutkimuksen siirrettävyydellä taas tarkoitetaan sitä, kuinka samankaltainen tutkimus tai sen osat ovat muiden, aiempien tutkimusten sekä tutkimustulosten kanssa. Siirrettävyyden avulla pyritään luomaan siis yhteys arvioitavana olevan tutkimuksen sekä aiempien tutkimusten välille. Siirrettävyydessä ei kuitenkaan varsinaisesti ole kyse aiempien tutkimustulosten toistamisesta, vaan siitä, voidaanko arvioitavana olevasta laadullisesta tutkimuksesta havaita jonkinlaista samankaltaisuutta kuin aiemmin toteutetuista tutkimuksista. (Lincoln & Guba 1985.) Tämän tutkimuksen siirrettävyyttä alleviivaa teorian ja empirian välinen selkeä ja läheinen yhteys, vaikka konteksti on hieman eri. Empiiriset tutkimustulokset kuitenkin keskustelevat laajasti tutkimuskirjallisuuden kanssa ja tämän laadullisen tutkimuksen tuloksissa on havaittavissa selkeää samankaltaisuutta aiempiin

tutkimustuloksiin peilattaessa. Aiempien tutkimusten tulokset ovat suurimmilta osin sovellettavissa niin ikään tämän tutkimuksen aihealueen tuloksiin. Tämä tutkimus ei kuitenkaan yksinomaan toista aiempien tutkimusten tuloksia, vaan tämän tutkimuksen tuloksilla on myös uutuusarvoa.

Lincolnin ja Guban (1985) mukaan laadullisen tutkimuksen luotettavuudella tarkoitetaan tutkijan vastuuta siitä, että lukijalle tarjotaan tietoa tutkimusprosessin jäljitettävyydestä ja loogisuudesta sekä samalla myös tutkimusprosessin dokumentoinnista. Tutkimuksen luotettavuuteen liittyy myös tutkimusprosessin esitleminen lukijalle. Edellä mainitut toimet luovat perustan tutkimuksen luotettavuudelle, ja näiden kriteerien tulee täytyä, jotta tutkimusta voidaan pitää luotettavana. Lincolnin ja Guban (1985) mukaan tutkimuksella ei myöskään ole uskottavuutta ilman luotettavuutta. Tämän tutkimuksen luotettavuus näkyy tutkimusprosessin huolellisessa dokumentoinnissa sekä kattavassa ja loogisessa esittämisessä. Tutkimuksessa käytetyt tutkimusmenetelmät sekä empiirisen aineiston hankinta- ja analysointimenetelmät on esitetty kattavasti tutkimuksen menetelmäluvussa.

Laadullisen tutkimuksen vahvistettavuudella tarkoitetaan sitä, etteivät tutkimuksen tiedot, tulkinnat ja johtopäätökset ole pelkkää tutkijan omaa mielikuvitusta (Eriksson & Kovalainen 2008). Vahvistettavuudessa on kyse siis siitä, ovatko tutkimusaineiston pohjalta esitellyt tulokset sekä tehdyt johtopäätökset realistisia. Vahvistettavuudessa on tärkeää, että luotettavasti toteutetussa tutkimuksessa tulkinnat sekä havainnot, ja siten johtopäätökset, voidaan liittää aineistoon niin, että ne ovat myös lukijan näkökulmasta helposti ymmärrettävissä. Vahvistettavuus siis liittyy siihen, missä määrin tutkimustulokset heijastavat aineistoa ja ovat vapaita tutkijan ennako-oletuksista. (Lincoln & Guba 1985.) Tämän tutkimuksen vahvistettavuus korostuu etenkin tutkimuksen keskeisten johtopäätösten esittelyn yhteydessä. Tutkimusaineiston pohjalta esiteltyjen johtopäätösten paikansäilyvyyttä ja realismia pyritään osoittamaan esittämällä tutkimustulokset loogisesti ja samalla linkittämällä ne tutkimuskirjallisuuteen. Näin johtopäätöksistä pyrittiin tekemään lukijalle mahdollisimman helposti ymmärrettäviä. Tutkimuksen vahvistettavuutta pyritään edistämään myös hyödyntämällä empiiristen tulosten analysoinnissa haastateltavien suoria lainauksia, mikä korostaa sitä, ettei tulkinnat ja johtopäätökset ole tutkijan omaa mielikuvitusta.

6 Empiiristen tutkimustulosten analysointi

6.1 Automaation nykytila Suomen konttisatamissa

6.1.1 Automaation hyödyntäminen päivittäisessä operoinnissa

Suomen konttisatamien automaation hyödyntämisen taso on vielä toistaiseksi alhainen, etenkin maailman suurimpiin ja kehittyneimpiin älykkäisiin satamiin verrattuna. Porttitoimintojen automatisointi on Suomen konttisatamissa pääosin hyvällä mallilla, mutta konttikentän operoinnissa ja konttien horisontaalisessa kuljetuksessa ei Suomen konttisatamissa juurikaan automaatioteknologioita vielä hyödynnetä, vaan toiminnot suoritetaan suurimmilta osin vielä manuaalisesti.

... jos puhutaan ihan koneesta ja laitteesta, miten automatisointi ymmärretään, esimerkiksi vaikka Hampurin satamassa, mikä on automatisoitu aika pitkälle tai Lontoossa, niin siihen nähden kyllähän Suomessa ollaan todella kaukana. (H5)

Porttitoimintojen automatisointi on aika hyvällä tasolla (...) lastinkäsittelytoiminnoissa, taas on aika hiljaista vielä Suomessa (automaation osalta). (H2)

... kun mennään tuohon varsinaiseen automaatioon, että konttikenttää operoidaan miehittämättömällä tekniikalla, niin sellaista ei ole Suomessa missään. (H3)

Porttitoiminnot ovat suurimmassa osassa Suomen konttisatamia ja -terminaaleja olleet jo pidemmän aikaa automatisoituja, mutta varsinainen lastinkäsittely konttikentällä ja kuljetusyksiköiden eli konttien siirrot ovat siis pääosin ihmisten ohjaamia. Satamayhtiö vastaa yleensä koko satama-alueen pääportista, minkä lisäksi satamaoperaattorit hallinnoivat omia terminaalikohtaisia porttejaan. Satamaan saapuvan kuorma-auton on yleensä kuljetettava molempien porttien läpi, joten porttitoimintojen automatisointi tehostaa ja nopeuttaa toimintaa huomattavasti vähentämällä kuorma-autojen kääntöaikoja sekä tilan käyttöä.

Automatisoiduilla porteilla tunnistetaan ja kuvataan esimerkiksi OCR- ja kamerateknologiaa hyväksikäyttäen automaattisesti ajoneuvojen kuljettajat, kuorma-autojen ja perävaunujen rekisterikilvet ja niiden kyydissä olevien konttien numerot, mahdolliset vaarallisten aineiden merkinnät, painotiedot sekä turvasinetit ilman, että liikennettä tarvitsee keskeyttää. Tämä mahdollistaa ajoneuvojen pääsyn alueelle automaattisesti ja mahdollisimman tehokkaasti. Porteilla olevat kamerateknologiat osaavat päästää kuorma-auton vain siihen osaan satamasta, mihin sillä on tarve mennä, mikäli sen kulkuluvat ovat kun-

nossa. Lisäksi konttisataman ja -terminaalien automatisoiduilla porteilla kuorma-auto ohjataan automaattisesti oikeille purku- ja palvelupisteille eli siis paikkaan, mihin kuorma-auton tulee joko viedä sen kyydissä oleva vientikontti tai vastaavasti paikkaan, josta kuorma-auton tulee hakea tuontikontti.

... porttitoimintojen automatisointi on jo aika vanhaa ja yksinkertaista tekniikkaa, että katsotaan esimerkiksi, onko rekalla lupa tulla alueelle vai ei ja ohjataan se sitten oikeaan paikkaan. (H6)

... toi porttiprosessi on ollut pitkään automatisoitu. Luetaan siis automaattisesti konttia ja rekisteriä, tunnistetaan ja kuvataan. (H3)

Kaikissa Suomen konttisatamissa- ja terminaaleissa porttitoimintoja ei kuitenkaan ole vielä automatisoitu näin pitkälle. Joissain tapauksissa portti toimii vielä suurimmaksi osin manuaalisesti, jolloin erilaisten fyysisten papereiden ja kaavakkeiden täyttäminen näyttelee vielä melko suurta roolia. Portilla on asiakaspalvelua hoitavia henkilöitä, jotka istuvat fyysisesti portilla ja syöttävät manuaalisesti asiakkaiden tietoja järjestelmiin sekä hoitavat puhelinpohjaisia palveluita. Rekisterikilpitunnistus on kuitenkin suurimmaksi osaksi kaikkialla automatisoitu, eli kuorma-autojen ja perävaunujen rekisterinumeroa ei tarvitse esimerkiksi manuaalisesti syöttää järjestelmään.

Portti toimii manuaalisesti, ja siellä on asiakaspalvelua hoitava henkilö, joka fyysisesti istuu portilla. (...) On kuitenkin jotain automatisointia, kuten rekisterikilpitunnistus, joka mahdollistaa ajoneuvojen pääsyn alueelle automaattisesti. Mutta muuten prosessimme ovat vielä pitkälti manuaalisia. (H4)

Porttitoimintojen automatisoinnin mahdollistavia palveluntarjoajia, etenkin Suomen liikennemääriin ja olosuhteisiin sopivia, on markkinoilla suhteellisen rajallinen määrä. Tästä syystä monet Suomen konttisatamien satamayhtiöt ja -operaattorit hyödyntävät porteillaan pääasiassa saman tyyppistä tekniikkaa. Suomen konttisatamissa automatisoiduissa porttitoiminnoissa hyödynnettäviä teknologioita ovat esimerkiksi OCR- ja RFID-teknologiat, joita voidaan hyödyntää yhdessä tekoälypohjaisten konenäköratkaisujen kanssa. Automaattisissa porttitoiminnoissa käytettävät edistyneet järjestelmät mahdollistavat myös saumattoman tietojen siirron muihin tärkeisiin järjestelmiin, kuten TOS-järjestelmään. Nykyaikaiset tekoälyohjelmistot yhdessä kamerateknologian kanssa mahdollistavat myös automaattisen konttien vaurioiden havaitsemisen sekä porteilla että lastinkäsittelylaitteissa.

Eräiden konttiterminaalien porteilla konteille tehdään automaattinen konttien kuntokuvaus. Kuntokuvauksen yhteydessä terminaalien portilla olevat kamerat ottavat kontin jokaiselta sivulta HDR-kuvaa, jonka se tallentaa pilveen, jolloin konttiin liittyvät tiedot siirtyvät TOS-järjestelmään. Läheskään kaikilla satamaoperaattoreilla konttien kuntokuvauksen yhteydessä automaatiota ei ole viety kuitenkaan niin pitkälle, että ohjelma tekisi automaattisesti poikkeamaraportin tai muun vastaavan, mikäli kontissa olisi jokin vaurio, kuten kolhu, pullistuma tai reikä. Automaattisen poikkeamaraportin tai muun vastaavan ilmoituksen tekemiselle ei ole edes koettu olevan vielä kovin suurta tarvetta. Kuntokuvausta hyödynnetäänkin pääasiassa todistamaan kontin kunto, mikäli asiakas reklamoi vaurioituneesta kontista. Kuntokuvauksen ansiosta voidaan siis todistaa, missä kunnossa kontti on lähtenyt terminaalista tai saapunut sinne. Konttien vaurioiden tunnistamiseen hyödynnetään tekoälyä ja kamerateknologiaa, joiden avulla voidaan havaita konttien vauriot tehokkaasti, mikä vähentää riskejä, ylimääräisiä kustannuksia ja parantaa toiminnan laatua.

Vastaavanlaista konttien vaurioiden havaitsemiseen liittyvää kamera-automaatiikkaa ja tekoälypohjaista teknologiaa hyödynnetään eräiden satamaoperaattoreiden toimesta myös konttikentän lastinkäsittelylaitteissa tai laiturinostureissa. Tässäkään tapauksessa järjestelmä ei kuitenkaan yleensä automaattisesti reagoi vaurioituneisiin kontteihin, mutta teknologian avulla pystytään jälkikäteen tarkastamaan, missä kunnossa kontti on käsittelyhetkellä ollut. Sekä porteilla tehtävät konttien kuntokuvaukset että laiturinostureissa olevat konttien vaurioita kuvaavat kamerat ovat vähentäneet reklamaatioiden määrää, kun satamaoperaattori pystyy todistamaan kontin kunnan kussakin käsittelyn vaiheessa. Konttien kuntokuvauksen lisäksi lastinkäsittelylaitteissa olevan kamera-automaatiikan ja OCR-teknologian avulla luetaan ja kuvataan myös automaattisesti konttien tietoja, kuten konttinumeroita ja muita koodeja. Järjestelmä siirtää tiedot automaattisesti TOS-järjestelmään.

Vaikka suurin osa Suomen konttisatamissa käytössä olevista laiturinostureista toimii vielä täysin manuaalisesti, erään satamaoperaattorin laiturinosturissa hyödynnetään jo jonkin verran automaatiota. Kyseinen laiturinosturi on varustettu differentiaalisella paikannusjärjestelmällä, jonka avulla tietokone osaa automaattisesti ohjata nosturin oikean kontin luokse satamalaiturilla. Nosturinkuljettajan manuaalista toimintaa tarvitaan kuitenkin konttiin tarttumisessa ja kontin nostamisessa laiturilta. Kun kuljettaja on saanut kontin nostettua, tietää nosturi automaattisesti, mihin paikkaan kontti seuraavaksi laske-

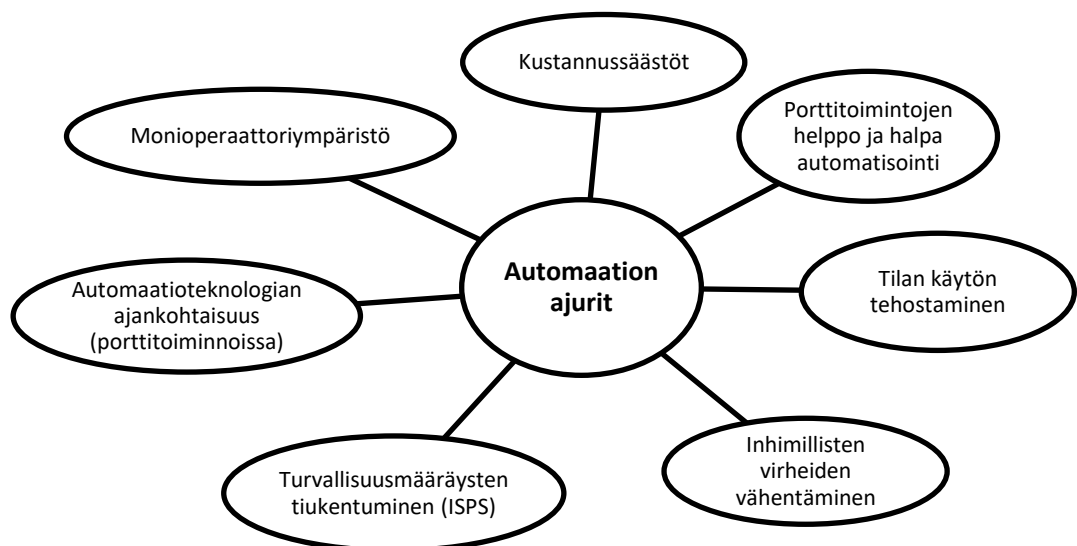
taan aluksen ruumassa. Nosturi osaa suunnistaa automaattisesti aluksen yläpuolella siihen paikkaan, johon kontti seuraavaksi aluksen ruumassa lasketaan. Kontin laskemisessa aluksen ruumaan tarvitaan jälleen nosturinkuljettajan manuaalista ohjausta. Vastaavasti, kun kuljettaja on manuaalisesti nostanut kontin pois aluksen ruumasta, nosturi osaa automaattisesti kuljettaa kontin oikeaan paikkaan maapuolella, johon sitten nosturinkuljettaja kontin manuaalisesti laskee. Tämän puoliautomaattisen nosturin avulla voidaan palvella suurempia aluksia sekä hyödyntää konttiterminaalin käytävissä olevaa tilaa tehokkaammin. Lisäksi puoliautomaattisen nosturin avulla voidaan parantaa nosturinkuljettajan työergonomiaa, joka tunnetusti on suhteellisen huono. Nosturin siirtyessä automaattisesti oikeaan kohtaan, johon kontti lasketaan tai josta seuraava kontti nostetaan, kuljettaja voi tässä siirtymän aikana oikeasta itseään.

6.1.2 Automaation ajurit

Suomen konttisatamien automatisoinnin ajureina tunnistettiin haastateltavien keskuudessa useita tekijöitä. Haastateltavat korostivat automaation ajureina etenkin potentiaalista kustannussäästöjen näkökulmaa sekä terminaalialueen tilan käytön tehostamista.

Kuvioon 7 on koottu haastateltavien tunnistamat automaation ajurit Suomessa.

... henkilökustannuksia saadaan leikattua, virheiden määrää vähennettyä ja alueiden käyttö tehostettua. (H6)



Kuvio 7 Automaation ajurit Suomessa

Porttitoiminnot ovat suhteellisen helppo sekä samalla melko edullinen prosessi automatisoida. Porttitoimintojen automatisoinnilla on myös mahdollista säästää kustannuksissa, koska portilla ei näin ollen tarvitse olla fyysisesti henkilöitä työskentelemässä eli henkilökustannuksia saadaan leikattua. Etenkin mitä lähemmäs mennään ympärivuorokautista (24/7) toimintaa, sitä enemmän porttitoimintojen automatisoinnilla on mahdollista säästää henkilöstökustannuksissa. Tehokkaiden konttivaurioiden havaitsemisjärjestelmien avulla taas voidaan vähentää reklamaatioiden käsittelyyn liittyviä kustannuksia sekä niihin tarvittavaa työpanosta.

... porttitoimintojen automatisointi on verrattain helppoa, eikä se vaadi ihan kauheasti rahaa. Päinvastoin se säästää rahaa, että siellä ei ole fyysisesti henkilöä sitten tekemässä porttitoita. Siihen tarvitaan aina aamuun ja iltaan vähintään pari kaveria per portti. Elikkä sitä kautta suhteellisen edullinen automatisoida. (H5)

Ei nämä laitteet (automatisoiduilla porteilla) nyt niin vallattoman kalliita siten kuitenkaan ole, että totta kai pidemmällä aikavälillä, niin onhan se kustannustehokasta. (H2)

Toinen keskeinen haastateltavien keskuudessa tunnistettu automaation ajuri on tilan käytön tehostaminen. Jos jokainen satama- ja terminaali-alueelle saapuva ajoneuvo joutuisi pysähtymään porteilla, vaatisi se suuret määrät jonotustilaa, jota etenkin kaupunkien välittömässä läheisyydessä sijaitsevilla satamissa ei ole riittävästi. Tästä syystä porttitoimintojen automatisointi on välttämätöntä, jottei ajoneuvojen tarvitse pysähtyä portille. Näin ollen porttitoimintojen automatisointi ehkäisee ruuhkien syntymistä. Jos kuorma-auto joutuu pysähtymään portille, myös sen kulutus kasvaa. Tämän seurauksena niin ikään jonotusajat kasvavat, joka edelleen näkyy kuorma-autojen kääntöajan pidentymisenä. Näistä syistä porttijärjestelmät ovat nykyään pakkokin olla automatisoituja.

... tilan käytön tiivistäminen on yksi asia, joka tukisi automaatiota. (H3)

... ei tommoista määrää pysty siten hoitamaan, että jokainen auto pysähtyisi portilla. Se vaatisi hirveät jonotustilat satamaan, mitä satamissa ei ole. (H1)

Muita haastateltavien keskuudessa tunnistettuja automaation ajureita ovat olleet inhimillisten virheiden vähentäminen, turvallisuusmääräysten tiukentuminen, automaatioteknologian ajankohtaisuus markkinoilla, uusien satamien rakentaminen ja monioperaattoriympäristössä toimiminen. Automatisoidut järjestelmät ovat ihmistä tehokkaampia esimerkiksi rekisterikilpien tunnistuksessa ja tekevät vähemmän virheitä kuin ihminen, mikä parantaa prosessien tarkkuutta. Lisäksi konttisatamissa, joissa toimii useita satamaope-

raattoreita, konttiterminaalien porttijärjestelmät täytyy integroida sataman varsinaisen pääportin kanssa yhtenäiseen järjestelmään, jotta voidaan mahdollistaa tietojen ja ajoneuvojen saumaton kulku. Näin on tapahtunut esimerkiksi silloin, kun on rakennettu kokonaan uusi satama, jolloin satamanpitäjä on määritellyt, että kaikkien satamaoperaattoreiden on käytettävä samaa automaattista porttijärjestelmää. Tällöin kaikki tiedot, kuten esimerkiksi turvallisuuden kannalta oleelliset kulkuluvat, ovat yhdessä tietokannassa. Voidaan siis todeta, että myös turvallisuusvaatimukset ovat osaltaan toimineet automaation käyttöönoton ajurina.

6.1.3 Automaation konkreettiset vaikutukset

Vaikka Suomen konttisatamien automaatioaste on vielä matala, on jo tähän mennessä automatisoiduilla toiminnoilla ja prosesseilla havaittu olevan konkreettisia vaikutuksia konttiterminaalien toimintaan. Porttitoimintojen automatisointi on esimerkiksi nopeuttanut kuorma-autojen kääntöaikoja satamassa ja automatisoidut portit pystyvät käsittelemään suuremman määrän kuorma-autoja tehokkaammin. Lisäksi nykyaikaisten automatisoitujen porttijärjestelmien ansiosta konttiterminaalissa nosturikuljettaja saa hyvissä ajoin tiedon, mikä kontti kuorma-auton kyytiin lastataan, kun se saapuu konttiterminaalin porteista sisään. Näin ollen kontti voidaan hakea jo valmiiksi odottamaan kuorma-auton saapumista, joka edelleen nopeuttaa niiden kääntöaikoja. Kääntöaikojen nopeutuessa myös kuorma-autojen joutokäynnit jäävät vähemmälle, mikä taas edelleen edistää ympäristöystävällisyyttä.

Useimmissa tapauksissa automatisoidut porttijärjestelmät ovat mahdollistaneet henkilöstön vähentämisen porteilla, millä taas on suora vaikutus henkilöstökustannuksiin. Toisinaan ihmistä kuitenkin tarvitaan edelleen portilla, sillä porttisysteemissä voi toisinaan esiintyä ongelmia esimerkiksi rekisterikilpien lukemisessa, etenkin lumi- ja loskakeleillä. Tällöin ihminen saattaa joutua muokkaamaan manuaalisesti kulkulupia. Automaation seurauksena myös paperityöt ovat vähentyneet. Paperitöiden huomattavan vähentymisen seurauksena satamaoperaattorit ovat saaneet karsittua kustannuksia, kun tietojen hallintaan ja manifestien käsittelyyn hyödynnetään ohjelmistorobotteja. Porttijärjestelmien automatisoinnin seurauksena myös turvallisuus on parantunut reaaliaikaisen ja tallentavan kameravalvonnan, kulkulupajärjestelmien ja auditoinnin kehittyessä sekä inhimillisten virheiden vähentyessä.

... porttiautomaatiot ja ynnä muut, ne on ennemminkin parantanut ehkä sitä rikollisuuden torjuntaa, että kontin saaminen väärillä dokumenteilla ulos tai sisään niin on paljon vaikeampaa nykyään, että siinä on niin monta check-pistettä, jotka pitää olla läpäisty siinä dokumenttipuolella... (H3)

Sitten siinä (automatisoiduissa porttijärjestelmissä) on sekin hyvä puoli, että kun sillä (kuorma-autolla) on myös se ulosmenolupa, kun se tulee hakemaan tiettyä konttia meiltä. Jos me ollaan epähuomiossa annettu väärä kontti, koska välillä kontin numerot voi olla tosi lähekkäin (...) Järjestelmä tunnistaa automaattisesti myös sen, että nyt siellä ei olekaan oikea kontti kyydissä, jonka kanssa rekan piti lähteä ulos ja silloin se ei nosta puomia. Näin virhe huomataan ajoissa... (H2)

6.2 Tulevaisuuden näkymät: Investoinnit automaatioteknologioihin

6.2.1 Käynnissä olevat automaatiohankkeet

Empiirisen tutkimuksen avulla kerätyn aineiston perusteella suurimmalla osalla Suomen konttisatamissa operoivista satamayhtiöistä ja -operaattoreista ei tällä hetkellä ole käynnissä merkittäviä automaatiohankkeita tai lopullisia päätöksiä automaatioinvestointisuunnitelmista. Lähes kaikki haastateltavat kuitenkin tunnistavat automaatioinvestointien tarpeen ja seuraavat aktiivisesti tilannetta. Erään satamayhtiön haastateltavan mukaan satamaoperaattorit tutkivatkin tällä hetkellä juuri sitä, mitä terminaalitoimintoja voitaisiin seuraavaksi automatisoida, koska porttitoiminnot ovat jo suurimmaksi osin automatisoituja.

Ei ole automaatiohankkeita käynnissä, mutta seuraamme tilannetta ja tunnistamme tarpeen. (H4)

Päätettyjä hankkeita ja investointeja ei ole, mutta meillä on tapetilla koko ajan, tekoäly sekä automaatio, nosturi-investoinnit ynnä muut. Koko ajan me suunnittelemme, mutta niin kun päätöksiä tällä hetkellä, että tällainen tulee toteutumaan, niin ei ole sellaisia, että nyt aletaan tekemään. (H3)

Eräällä satamaoperaattorilla kuitenkin on investointipäätös laiturinosturissa hyödynnettävästä kamerateknologiasta, jonka avulla voidaan automaattisesti tunnistaa ja kuvata kontin sinetti, ja näin ollen vapauttaa ihmisresursseja nosturin alta. Tämä parantaa samalla työturvallisuutta ja vähentää riskejä. Myös autonomisten droonien käyttöä on tutkittu ja pilotoitu Suomen konttisatamissa. Erään haastateltavan mukaan droonit saattavatkin olla ensimmäiset Suomen konttisatamissa nähtävät autonomiset koneet ja niitä voidaan hyödyntää etenkin turvallisuus- ja aluevalvontapuolella. Toistaiseksi drooneihin liittyvä lainsäädäntö vaatii kuitenkin vielä sen, että drooneja pystytään ohjaamaan ja valvomaan

myös etänä. Droonien pilotti voi siis istua jossain muualla kuin satamassa, kunhan drooneissa on tietyt turvatoimet. Edellä mainittujen tapausten lisäksi muutamalla satamaoperaattorilla on käynnissä pienempiä automaatioon liittyviä hankkeita, joiden tarkoituksena on lähinnä parannella jo automatisoitujen toimintojen ja prosessien automaation tasoa.

6.2.2 Potentiaaliset tulevaisuuden automaatioinvestoinnit

Haastateltavilta kysyttiin myös potentiaalisista tulevaisuuden automaatioinvestointikoh-teista noin 5–10 vuoden aikajänteellä. Vastaukseksi saatiin lukuisia erilaisia ennusteita, arvioita, tavoitteita ja toiveita automaatioteknologioiden hyödyntämisen suhteen. Pääasi-assa haastateltavat olivat kuitenkin yhtä mieltä siitä, ettei Suomen konttisatamien auto-maatioaste vielä ainakaan aivan lähivuosina ole ottamassa merkittävää harppausta eteen-päin, vaan automaatioteknologioiden laajamittaisempaa käyttöönottoa saadaan odotella vielä useampi vuosi, ehkä vuosikymmen. Useimpien haastateltavien mukaan lähitulevai-suudessa investoinnit tehtäisiin ensimmäisenä kaluston uudistamiseen käyttövoimien osalta, kuten sähköisiin työkoneisiin ja laitteisiin, ja vasta sen jälkeen investoitaisiin au-tomatisoituihin koneisiin ja laitteisiin. Näin ollen ympäristönäkökulma on noussut auto-maatiota merkittävämmäksi puheenaiheeksi viime aikoina.

... kyllähän se ympäristöystävällisyys on ehkä noussut tässä viime aikoina enemmänkin esiin, että tämä automatisointi on vähän jäänyt ehkä taka-alalle tässä keskustelussa. (...) Käytäntö on kuitenkin se, että ihan hirveästi ei ole rahaa laittaa automaatioinvestointihankkeisiin, että kyllä ensimmäiset rahat, jotka investoidaan, niin kyllä ne ensimmäinkin investoidaan sitten niihin sähköisiin koneisiin ja laitteisiin ja sen kaluston uudistamiseen eikä niinkään automatisointiin. (H5)

Luulen, että tässä tulee ensin yksi sukupolvi työkoneita, missä on uusia käyt-tövoimia, kuten sähköä, vetyä ja muuta. Ja sitten ehkä se automaatio, jos sitä saadaan maailmalla kehitettyä ja hintaa painettua alas. (H1)

Lähes kaikki haastateltavat olivat yhtä mieltä siitä, että automaation suhteen tulevaisuu-den kehitys on ensin kohti etäohjausta sekä eräänlaista puoliautomaatiota, joka kuitenkin tuo jo huomattavia parannuksia konttiterminaalien toimintaan. Kun etäohjaus ja puoliau-tomaatio on saatu integroitua tehokkaasti konttiterminaalin toimintaan, voidaan katseet kääntää kohti täysautomaatiota. Etäohjausta ja puoliautomaatiota voitaisiin hyödyntää etenkin laiturinostureissa sekä konttikentällä esimerkiksi lukeissa tai RTG-nostureissa.

Kauko-ohjaus on kuitenkin ensimmäinen askel, ja se tuo jo huomattavia parannuksia. Mennään niinku step-by-step, että ensin etäohjaus ja sitten täysautomaatio. (H6)

... voihan se etäohjattavuus jonkun näköistä roolia näytellä sitten tuossa seuraavan 5–10 vuoden aikana hyvinkin. (H5)

Etäohjauksella toimivia konttinostureita on mietitty, mutta ne koskevat sitten, kun meillä on tarkoitus lähivuosina investoida konttinostureihin, niin näitä sitten todennäköisesti ajetaan muualta, vaikka etänä toimistosta. (H3)

Osa haastateltavista oli sitä mieltä, että fokus tulisi ensin olla konttikentän toimintojen automatisoinnissa esimerkiksi lukkien etäohjauksen kautta. Puoliautomoituituja lastinkäsittelylaitteita voitaisiin hyödyntää kotikentällä konttien siirroissa esimerkiksi kahden depotin eli konttivarikon tai -varaston välillä, mutta ihmisen hahmotusta vaativa osuus prosessista tehtäisiin edelleen manuaalisesti. Konttikentän toimintojen automatisoinnin jälkeen fokus siirtyisi laituritoimintojen automatisointiin eli pääasiassa etäohjattaviin laiturinostureihin.

... konttikentän toiminnot, kuten konttien siirrot ja järjestelyt, tulisi semiautomasoida tai tehdä autonomisiksi. Tämä mahdollistaa tehokkaamman tilankäytön ja vähentää virheitä. Kyseessä siis, että laiturilta viedään terminaaliin kontit ja siellä lastataan kontit jopa autonomisesti tai automaattisesti... (H6)

Osa haastateltavista taas kuitenkin oli sitä mieltä, että ensisijainen kehityskohde automaatioteknologioiden osalta voisi olla laiturinostureiden etäohjaus. Tällöin kuljettaja ei istu fyysisesti nosturissa, vaan nosturia ajetaan etäohjauksella esimerkiksi lämpimästä toimistosta käsin. Laiturinostureiden toimintaan liittyy kuitenkin läheisesti laivojen liikkeit, kuten laivojen keinuminen, joka aiheuttaa haasteita automatisointiin. Kuten aiemmin todettua, täysin automaattisia laiturinostureita ei ole vielä laajasti käytössä maailman suurimmissakaan konttisatamissa, sillä laiturinostureiden täysautomaation toteuttaminen on haastava prosessi. Automatisointi on siis helpompi toteuttaa heilumattomalla, kiinteällä maaperällä, kuten konttikentällä.

Osa satamaoperaattoreista, joiden porttitoiminnot eivät ehkä ole vielä kovin pitkälle automatisoituja, näkevät tulevaisuuden kehityksessä potentiaalia porttitoimintojen automatisoinnin edelleen kehittämisessä sekä erilaisissa itsepalveluratkaisuissa, kuten tietojen hankkimisessa ja syöttämisessä erilaisten portaalien eli verkkopalveluiden kautta. Näiden toimintojen avulla pyritään parantamaan olemassa olevien porttitoimintojen tehokkuutta. Tämä nähdään oleellisena etenkin palveluaikojen laajentamisen näkökulmasta, jolloin

palveluaikoihin on mahdollista saada joustavuutta. Tämän lisäksi tulevaisuuden potentiaalia nähdään niin ikään kamerateknologian laajemmassa hyödyntämisessä työkoneissa. Automaattisten kamerajärjestelmien avulla voidaan siis havaita koneen lähetyillä olevat ihmiset ja sitä kautta parantaa työturvallisuutta. Myös autonomisten droonejen suhteen kehitystyötä jatketaan.

Konttisataman alueella suoritettavien toimintojen ja prosessien automatisointi on pääasiassa satamaoperaattoreiden vastuulla. Kuten aiemmin todettu, Suomessa toimitaan niin sanotulla landlord -periaatteella. Satamanpitäjä eli satamayhtiö voi kuitenkin tarjota automatisoinnin kannalta oleellisen perusinfrastruktuurin. Satamanpitäjä voi edistää satama-alueen yhdistettävyyttä tarjoamalla eräänlaisen yksityisen verkon, joka mahdollistaa pienemmät latenssit eli viiveajat ja sitä kautta helpottaa automaation käyttöönottoa konttiterminaalien alueella. Satamanpitäjän tarjoamaan perusinfraan liittyy läheisesti tilannekuvan ja tiedon jakaminen, jotka ovat tärkeitä etenkin monioperaattoriympäristöissä. Näin ollen esimerkiksi konenäköpilotteja on kehitelty keräämään dataa automaattisesti tilannekuvan parantamiseksi. Satamanpitäjät pyrkivät siis edistämään automaattista tiedonvaihtoa ja tilannekuvan jakamista, jonka avulla voidaan vähentää ihmistyötä ja sähköpostien lähettelyä.

6.2.3 Automaatioinvestointien toteutusaikataulu

Ei pelkästään automaatioteknologioiden kehitys, vaan teknologinen kehitys ylipäätään on tällä hetkellä maailmassa niin nopeaa, että on lähes mahdotonta sanoa tarkkaa ajankohtaa, milloin automaatioteknologioita aletaan laajemmin hyödyntämään Suomen konttisatamissa. Teknologinen kehitys muovaa toimintatapoja ja luo koko ajan uusia mahdollisuuksia, joita emme osaa vielä tarkkaan ennustaa tai täysmääräisesti hyödyntää. Eräs haastateltavista toteaaakin seuraavasti:

Teknologia kehittyy tällä hetkellä niin paljon, että liian pitkälle tulevaisuuteen ennustamista ei ainakaan omalla nimellä pidä mennä tekemään, se näyttäisi vain hölmöltä. (H1)

Useiden haastateltavien mukaan tulevaisuuden tavoitteena pitäisi kuitenkin olla autonominen tai edes puoliautomoitu työkone. Siitä, tapahtuuko autonomisten tai puoliautomoitujen työkoneiden käyttöönotto jo seuraavan 5–10 vuoden aikana, ei haastateltavien kesken ole täyttä selkeyttä. Automaation laajamittaisemman käyttöönoton aikataulu tai ajankohta jakaakin runsaasti mielipiteitä haastateltavien välillä. Joidenkin haastatelta-

vien mukaan automaattioratkaisuja koneiden ja laitteiden osalta voidaan nähdä jo tämän vuosikymmenen aikana. Toiset taas olivat sitä mieltä, että autonomisten työkoneiden käyttöönottoon menisi vielä ennemminkin kymmeniä vuosia. Aikahaitarin laajuuteen vaikuttavat monet tekijät, kuten esimerkiksi satamien konttivolyyymien tulevaisuuden kehitys, vallitseva työmarkkinatilanne sekä se, onko automaattioratkaisuja tarjoavilla yrityksillä tulevaisuudessa mahdollisuus tarjota automaatioteknologioita kilpailukykyisempään hintaan kansainvälisessä vertailussa pienemmille konttiterminaaleille.

Kyllä se (automatisointi) menee käsi kädessä tavaramäärän kanssa (...) kun softa tulee koko ajan edullisemmaksi ja edullisemmaksi, että ehkä voisi heittää, että siihen menee ennemminkin kymmeniä vuosia kuin vuosia. (H5)

... kyllä me tullaan näkemään näitä automaattioratkaisuja. Olen ihan varma, että kun me mennään tuolla viiden, ehkä lähempänä kymmenen vuoden aikaväliin, niin meillä tulee olemaan automaattioratkaisuja. Tulee olemaan nostureita, joissa kuljettaja ei istu nosturissa ja niin pois päin. (H3)

Tarkkaa ajankohtaa laajamittaisemmalle automaatioteknologioiden käyttöönotolle Suomen konttisatamissa on siis vaikea ennustaa, mutta suunnittelu ja keskustelu satamayhtiöiden ja -operaattoreiden keskuudessa automatisoinnin ympärillä käy tiiviinä. Kun yksi satamaoperaattoreista investoi automaattisiin lastinkäsittelylaitteisiin ja esimerkiksi puoliautomatisoi konttikentän toiminnan, muut satamaoperaattorit saattavat hyvinkin seurata perässä jopa suhteellisen lyhyelläkin aikavälillä.

6.3 Tulevaisuuden automaatioinvestointien mahdollisuudet ja hyödyt

Haastateltavien vastausten perusteella voitiin tunnistaa useita keskeisiä mahdollisuuksia ja hyötyjä, joita automaatioinvestointien avulla voitaisiin Suomen konttisatamissa saavuttaa. Keskeisimmät mahdollisuudet ja hyödyt liittyivät operatiiviseen tehokkuuteen ja tuottavuuteen, kustannustehokkuuteen, ympäristöystävällisyyteen sekä turvallisuuteen. Näiden neljän keskeisen tutkimuskirjallisuudestakin tutun näkökulman lisäksi haastateltavat tunnistivat lisäksi useita muita automaatioinvestointien tuomia mahdollisuuksia ja hyötyjä. Alla olevaan kuvioon 8 on koottu tulevaisuuden automaatioinvestointien avulla potentiaalisesti saavutettavat mahdollisuudet ja hyödyt.



Kuvio 8 Tulevaisuuden automaatioinvestointien mahdollisuudet ja hyödyt

6.3.1 Operatiivinen tehokkuus ja tuottavuus

Useimpien haastateltavien mukaan operatiivisen tehokkuuden ja tuottavuuden nousu olisi mahdollista etenkin etäohjattavien työkonoiden, kuten etäohjattavien laiturinostureiden, avulla. Nosturinkuljettajilla kuluu paljon aikaa siirtymämatkoihin, esimerkiksi taukopai-koilta laiturialueelle kulkemiseen ja nostureihin kiipeämiseen siitä huolimatta, että käytössä olisi hissejä. Siirtymämatkojen lisäksi tehollista työaika syövät nosturinkuljettajien kahvi- ja ruokatauot sekä vuoronvaihtoihin kuluva aika. Nosturien etäohjauksella voitaisiin näin ollen merkittävästi lisätä tehollista työaika ja vähentää siirtymistä sekä tauoista aiheutuvia viiveitä ja tuotannon keskeytyksiä.

Tauot näyttelevät aika isoa osaa työajasta eli efektiivinen työaika jää aika pieneksi. Niin sitä kautta tuommoinen automaatio (...) tuottaisi tosi paljon sitä tehokkuutta ja nimenomaan tuottavuutta. (H4)

Vaikka laiturinostureita ohjattaisiinkin nosturista käsin manuaalisesti, voidaan myös pelkästään konttikentän lastinkäsittelylaitteiden automatisoinnin avulla savuttaa merkittäviä tehokkuus- ja tuottavuushyötyjä. Autonomiset koneet voisivat työskennellä ympärivuorokauden ilman taukoja, mikä parantaisi tehokkuutta ja tuottavuutta. Ihmisiä tarvitaan kuitenkin aina useampi henkilö töihin, jos halutaan pyörittää jotain toimea ympärivuorokautisesti. Jos kone tekee saman työn ilman taukojen ja työvuorojen vaihdoksista aiheutuvia tuotannon keskeytyksiä, on sillä selvä tuottavuusvaikutus, ja automaation mahdollistaman henkilöstökulujen leikkaamisen kautta myös suora kustannusvaikutus. Useiden haastateltavien mukaan automaation tuomat tehokkuus ja tuottavuushyödyt tulisivatkin tasaisen ja ennustettavan ympärivuorokautisen toiminnan myötä, eikä niinkään nopeamman lastinkäsittelyn seurauksena. Konttikentän lastinkäsittelylaitteiden automatisointi saattaa hieman laskea käsittelytehoja per tunti manuaaliseen operointiin verrattuna, mutta automatisoinnilla mahdollistetaan tasainen ja ennustettava ympärivuorokautinen toiminta, mikä on oleellista, koska logistiikka toimii nykyään vuorokauden ympäri.

Konttioperointi on hiukan hitaampaa (jos automatisoitu). Se ei ole ihan yhtä tehokasta yksikköä per tunti, mutta se on tasaista. Se on aina samalla teholla, kelistä, mielialasta, poliittisesta kannasta, mistä tahansa huolimatta. Se on aina tasainen se suoritus (käsittely yksikkö/tunti), eli ennustettavaa, jolloin pystytään terminaalia pyörittämään huomattavasti tehokkaammin ja ennustettavana, kun tiedetään, että joku laiva tulee tuohon aikaan, ja mikä on se konttijoukko, niin se menee varmasti aina sillä samalla teholla läpi. (H3)

Ihminen tekee hiukan konetta nopeammin, mutta ihminen ei tee 24/7, ainakaan niin halvalla kuin kone. Lisäksi ihmisen tekemän työn tehokkuus vaihtelee sen mukaan, kuka koneen puikoissa on. Automaation juju on nimenomaan suorituksen tasaisuus. Vaikka se (automaatio) ei ihan huipputehoa saavuta verrattuna huippukuskeihin, niin siihen voidaan luottaa, että se tekee sillä samalla teholla hommat läpeensä, kun taas sitten henkilöt vaihtuu, niin se menee niinku vuoristorataa se teho silloin. Eli yksittäin laskettuna tuntiteho on automaatiossa muutaman prosentin (ihmisen tehoa) alle, mutta pitkässä juoksussa juuri tauot jne. huomioiden automaatio on tehokkaampaa. (H6)

Automatisoinnin avulla voidaan myös optimoida koneiden ja laitteiden liikkeitä ja vähentää näin ollen turhaa työtä, mikä taas voi parantaa tehokkuutta ja tuottavuutta. Kun laiturissa ei ole aluksia tai terminaalissa kuorma-autoja hakemassa kontteja, voisivat autonomiset koneet esimerkiksi järjestellä konttikenttää ja tehdä sinne valmiiksi seuraavan työn jonoon. Edellä mainittu tukee tehokkuus ja tuottavuusnäkökulman lisäksi myös ympäristöystävällisyyden näkökulmaa.

6.3.2 Kustannustehokkuus

Kustannustehokkuuden näkökulmasta tarkasteltuna haastateltavat olivat yksimielisesti sitä mieltä, että suurin automaation hyöty tulee henkilöstökuluissa säästämässä. Ahtausala on erittäin työvoimavaltainen ala ja sille on tyypillistä, että henkilöstökulujen osuus on suuri, erään haastateltavan mukaan noin 30–40 prosenttia liikevaihdosta. Näin ollen mitä vähemmän työtä tehdään ihmisvoimin, sitä kustannustehokkaampaa se on työnantajalle. Esimerkiksi erään haastateltavan mukaan, jos halutaan ihmisvoimin suorittaa jotain tiettyä prosessia vuorokauden ympäri, tarvitaan siihen yleensä noin viisi henkilöä yhteen tehtävään. Autonominen kone taas pystyisi suorittamaan tehtävän yksin, jolloin olisi mahdollista saavuttaa merkittäviä säästöjä palkkakustannuksissa. Automatisoitujen järjestelmien avulla voidaan työntekijöiden peruspalkan lisäksi säästää niin ikään yö- ja viikonlopputyöstä aiheutuvista lisäkustannuksissa.

... työvoimavaltainen ala ja palkkakustannukset on merkittäviä siellä yrityksen menoissa. (H4)

Kyllä suuri säästö tulee toki sieltä työvoimasta, ei pidä sitä väheksyä. (H1)

Osa satamaoperaattoreista on saavuttanut myös säästöjä konttivahinkoihin liittyvien reklamaatioiden käsittelyssä automaattisen kameravalvonnan avulla. Laiturinnostureissa ja konttikentän lastinkäsittelylaitteissa hyödynnettävän automaattisen kamerateknologian avulla pystytään osoittamaan kontin kunto tiettyä ajankohtana ja näin ollen eliminoidaan turhat reklamaatiot, joiden käsittelyyn kuluu ylimääräistä aikaa ja rahaa.

... välillä käsitellään näitä konttivahinkoja, että on ollut joku reikä katossa tai muuta, niin me pystytään kaivamaan sieltä järjestelmästä ne kuvat ja todentamaan, että joku kontti oli jo rikki ennen kuin se tuli meidän terminaaliin. Ollaan aika paljon säästetty rahaa siinä, että oltaisiin jouduttu sitten maksamaan siitä vahingosta. Ollaan voitu todentaa, että se (kontti) on jo ollut rikki. Se on täysin automatisoitu. (H2)

6.3.3 Ympäristöystävällisyys

Useimpien haastateltavien mukaan automatisoinnin myötä tulevat ympäristöystävällisyyteen liittyvät mahdollisuudet ja hyödyt ovat seurausta etenkin sähköistämisestä. Automatisoidut koneet ja laitteet hyödyntävät mitä todennäköisimmin käyttövoimanaan sähköä, jolloin niiden hiilidioksidipäästöt (CO₂) jäävät pienemmiksi kuin manuaalisysteemissä, joissa useimmat, etenkin konttikentän lastinkäsittelylaitteet, hyödyntävät käyttövoimanaan dieseliä. Suurin osa laiturinnostureista on kuitenkin jo tälläkin hetkellä sähkökäyttöi-

siä. Tärkeää on kuitenkin huomioida kokonaisenergiankulutus, koska jollain tavalla automatisoiduissa koneissa ja laitteissa käytettävä sähkökin pitää tuottaa. Kuitenkin automaation tason noustessa kokonaisenergiankulutus todennäköisesti laskee ja konttitermiinän kokonaispäästöt niin ikään vähenevät. Samalla myös konttitermiinän energiatehokkuus paranee, jolloin on todennäköisesti mahdollista säästää myös energiakustannuksissa.

... ympäristöystävällisyys, kyllähän se on huomattavasti parempi automaatioissa. Ensinnäkin ne on todennäköisesti sähköisiä laitteita. (H3)

Automaation avulla voidaan vähentää myös ympäristökuormitusta, sillä algoritmit kykenevät optimoimaan toimintoja ja vähentämään turhia siirtoja. Esimerkiksi konttikentällä automatisoidut lastinkäsittelylaitteet voivat järjestellä kontit siten, että tarpeettomat liikkeet minimoidaan ja konttien järjestely on mahdollisimman tarkoituksenmukaista. Tämä perustuu Lean-ajattelun kaltaiseen hukkaa vähentävään toimintaan, jossa kaikki resurssit käytetään mahdollisimman tehokkaasti. Lisäksi konttikentän automatisoidut lastinkäsittelylaitteet noudattavat tarkasti optimoituja reittejä, jotka minimoivat liikkumiseen käytetyt matkat. Automaattivaihteisto ajaa keskimäärin ihmistä paremmin ja taloudellisemmin, jolloin on myös helpompi optimoida koneiden kulkemat reitit. Tämän ansiosta automaatio vähentää sähkön tai polttoaineenkulutusta parantaen niin ikään ympäristöystävällisyyttä, koska lyhyemmät ja optimoidummat ajomatkat pienentävät hiilijalanjälkeä.

... automaatio voisi vähentää ympäristökuormitusta, koska algoritmit voivat optimoida toimintaa ja vähentää turhia siirtoja. (H4)

... automaattivaihteisto ajaa paremmin kuin lähes 100 % kuljettajista. Automaattikone ei hermostu ja paina kaasua ja sudita renkaita pilalle. Luulen, että säästöjä syntyy montaa kautta. Eli koneet ajavat vähän helpommin tai nätimin ja sitä kautta säästää. Ne voi paremmin optimoida, mitä ne tekevät. (H1)

Kuten todettu, automaation avulla voidaan myös nopeuttaa kuorma-autojen ja alusten kääntöaikoja. Jos automatisoinnin avulla saadaan pienennettyä kuorma-autojen kääntöaika esimerkiksi muutamalla minuutilla, niin silloin sen tyhjäkäyntiaika vähenee, jolla taas on positiivinen vaikutus ympäristön näkökulmasta. Sama pätee myös laiturin puolella. Mitä tehokkaammin alus saadaan purettua ja lastattua, sitä vähemmän energiaa kuluu aluksen satamassaoloon, sillä aluksella on energiantarve silloinkin, kun se seisoo laiturissa.

6.3.4 Turvallisuus ja turvatoimet

Turvallisuuden ja turvatoimien näkökulmasta haastateltavat tunnistavat etenkin työturvallisuuden parantumisen ja inhimillisten virheiden vähenemisen merkittävänä automaation tuomina mahdollisuuksina. Työtapaturmat vähenevät huomattavasti, kun henkilöstö ei työskentele samoilla alueilla raskaiden koneiden kanssa, vaan koneet hoitavat riskialttiit tehtävät, kuten konttien siirrot ja nostot. Ihmisen ja koneen välinen vuorovaikutus tunnistetaan suurimmaksi riskitekijäksi työtapaturmien syntymiselle. Mitä vähemmän konttikentällä on ihmisiä ajamassa koneita tai muutenkin kulkemassa konttiterminaalien alueella, niin sitä pienempi on riski vakavien työtapaturmien syntymiselle. Automaation avulla voidaan siis parantaa henkilöturvallisuuden lisäksi myös tavaraturvallisuutta.

Erään haastateltavan mukaan ihmisen ajamat kolarit näyttävät suhteellisen isoa roolia konttiterminaalitoiminnassa. Ihminen tekee ajovirheitä ja sen arviointikyky voi pettää. Myös sääolosuhteet voivat vaikuttaa ihmisen toimintaan. Autonominen kone taas ei hurjastele ja se ajaa juuri niin, kuin sen on määritetty ajavan. Autonomisissa koneissa olevat anturit ja kamerajärjestelmät valvovat ympäristöä ja varoittavat mahdollisista esteistä sekä havaitsevat vaaratilanteita, kuten esimerkiksi kaasuvuotoja. Automatisoidut koneet eivät myöskään tee inhimillisiä virheitä, kuten virheellisiä nostoja tai huolimattomia liikkeitä. Siten kolarien määrät konttiterminaalien alueella todennäköisesti vähentyvät merkittävästi. Työtapaturmien ja kolarien vähentymisellä on myös suhteellisen iso taloudellinen merkitys esimerkiksi vakuutuskustannusten ja muiden korvausten näkökulmasta.

... turvallisuus paranisi. Se on selvä, koska mitä vähemmän siellä on ihmisiä ajamassa, kulkemassa ja kävelemässä, niin sitä pienempi on se riski. Eli se (automaatio) lisää turvallisuutta, niin henkilöturvallisuutta kuin tavaraturvallisuutta, koska se kone ajaa. (H3)

... työturvallisuuteen vaikuttaa sillä, että kun ei ole henkilöitä töissä, niin ei siellä mitään onnettomuuksia siinä mielessä tapahdu tai ainakaan niin, että ihmisille mitään tapahtuu. Elikä työtapaturmat tietysti tippuvat siltä osin pois. (H5)

Automatisoidut porttijärjestelmät mahdollistavat satama-alueen ja terminaalien tehokkaan kulunvalvonnan, mikä estää luvattoman pääsyn alueelle. Lisäksi automatisoidut järjestelmät voivat valvoa kyberuhkia, kuten tietomurtoyrityksiä tai väärinkäytöksiä, ja reagoida niihin nopeasti. Lisäksi kuten aiemmin todettiin, automatisoitujen porttijärjestelmien ansiosta kontin saaminen väärillä dokumenteilla terminaaliin tai pois terminaalista, on huomattavasti haastavampaa manuaalisiin porttijärjestelmiin verrattuna.

Etäohjattavien tai autonomisten droonejen avulla satamayhtiöt voivat tehokkaasti toteuttaa satama-alueen valvontaa ja kuvaamista, joka liittyy oleellisesti koko satama-alueen turvallisuuteen. Drooneja hyödynnetään myös muiden droonien, kuten rikollisten käyttämien droonejen, havaitsemiseen. Turvallisuushyötyjen lisäksi drooneja voidaan hyödyntää öljypäästöjen tunnistamiseen ja seuraamiseen sekä yksiköiden laskentaan tai parkkipaikan käyttöasteen seurantaan. Lisäksi droonejen avulla voidaan tehdä erilaisia tarkastuksia, kuten nostureiden kuvaaminen lämpövuotojen osalta.

... nehän (droonit) turvallisuus ja aluevalvontapuolella pystyy auttamaan, mutta koneille on sitten paljon muitakin käyttötapauksia. (H1)

6.3.5 Muut automaatioinvestointien mahdollisuudet ja hyödyt

Eräs keskeinen lähes kaikkien haastateltavien keskuudessa tunnistettu automaation tuoma mahdollisuus on myös työergonomian parantuminen. Esimerkiksi koneiden tärinä, melu sekä hankalat työskentelyasennot rasittavat työkoneiden kuljettajien kehoa aiheuttaen työntekijöille nivel- ja lihaskulumia sekä ongelmia niska- ja hartiasseudulle. Etenkin nosturinkuljettajien työ on erityisen epäergonomista, mutta sama koskee myös lukkien ja kurottajien kuljettajien työtä. Konttioperoinnissa työkoneita ajetaan yleensä yläpuolelta ja työskentelyasennot pakottavat usein kuljettajaa katsomaan alaspäin, mikä kuormittaa kehoa etenkin pitkällä aikavälillä. Puoliautomaation ja etäohjauksen hyödyntäminen voisi merkittävästi parantaa työskentelyolosuhteita. Työn fyysinen kuormittavuus vähenisi huomattavasti, jos esimerkiksi nosturien ja muiden työkoneiden ohjaus siirretään ergonomisiin sisätiloihin ja toteutetaan kameroiden sekä konenäön avulla. Tämä parantaisi myös työssä viihtymistä ja työturvallisuutta sekä mahdollistaisi työuran pidentymisen. Etäohjaus vähentää lisäksi tarpeetonta koneisiin kiipeämistä ja niistä laskeutumista, ja näin ollen niin ikään liukastumisriskit ja muut tapaturmat todennäköisesti vähenisivät. Nosturien ja muiden työkoneiden hallinta ergonomisista olosuhteista käsin ei siis ainoastaan paranna työn tuottavuutta, työturvallisuutta tai työergonomiaa, vaan myös vähentää kuljettajien määrän tarvetta, jolla taas on suora vaikutus kustannustehokkuuteen.

Työergonomia on aika huono siinä nosturikuskin hommassa ja joudut koko ajan katsomaan tavallaan lattiassa olevasta lasista alas. Ja onkin paljon aiheuttanut ongelmia niskoihin ja hartioihin. (H2)

... nosturinkuljettajan työ on hyvin epäergonominen paikka, missä sitä ajetaan. Se on aika ikävää hommaa, mutta kun se viedään toimistoon ja ergonomiseen ympäristöön kameratekniikkaa hyväksikäyttäen, niin siitä saadaan tehoja ylös siitä nosturin ajosta sekä säästetään henkilöresursseja. Ei tarvitse

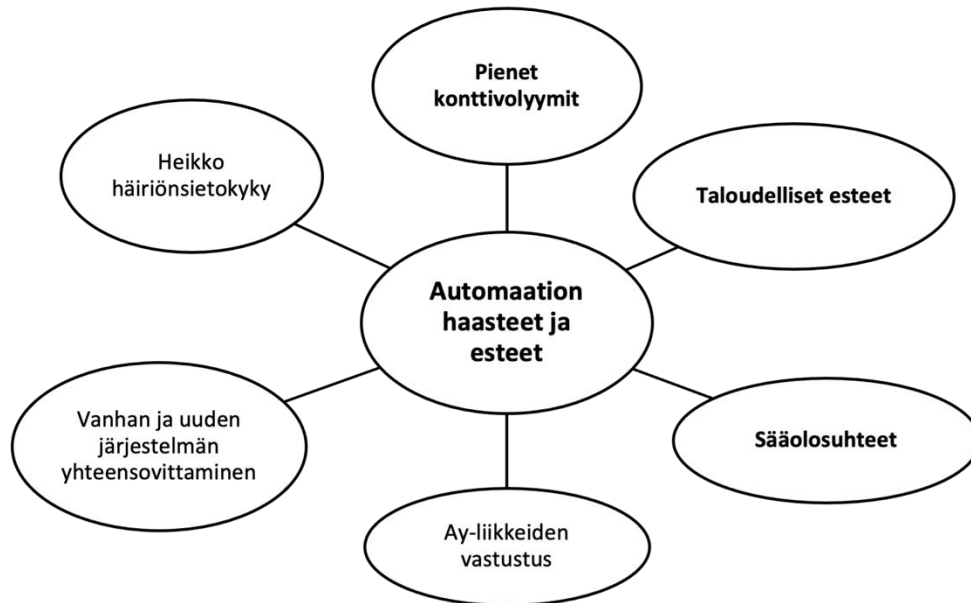
niin montaa kuljettajaa. Ja sitten parannetaan sitä työturvallisuutta ja työssä viihtyvyyttä. (H3)

Haastateltavien mukaan automaatio mahdollistaa merkittäviä parannuksia myös tilankäytön ja koneiden suunnittelun suhteen. Autonomisten koneiden tilavaatimukset pienenevät huomattavasti, kun niitä ei tarvitse suunnitella niin, että ihmisen on pysyvästi mahdollista ohjaamaan niitä. Automatisoinnin avulla voidaan tehostaa myös konttiterminaalien tilankäytön optimointia, jolloin kontit voidaan sijoittaa tiiviimmin, mikä mahdollistaa kapasiteetin lisäämisen tai vaihtoehtoisesti vapauttaa terminaalialueen tilaa muuhun käyttöön. Konttien tiiviimpi sijoittelu vähentää konttien siirtoihin kuluvia matkoja, mikä taas lisää kustannustehokkuutta ja nopeuttaa toimintaa.

Eräät haastateltavat totesivat myös, että koneiden ja laitteiden automatisoinnin avulla poistuisivat myös työntekijöiden lakkoilu sekä yöoperointiin liittyvät epävarmuustekijät, kuten saadaanko tarpeeksi ahtaajia ylitöihin. Suomen konttisatamissa resurssien saataavuus yöaikana perustuu 100 prosenttisesti vapaaehtoiseen ylityöhön. Lisäksi koneiden ja laitteiden käyttöikä sekä niiden käytettävyyden nousevat automaatiossa, koska niitä ei kolaroida tai kolaroida, vaan autonominen kone ajaa niin kuin sen kuuluukin ajaa.

6.4 Haasteet ja esteet automaatioinvestointien toteuttamiselle

Toistaiseksi automaatioteknologioiden laajamittaisemmassa implementoinnissa on vielä suurempia haasteita kuin potentiaalisia mahdollisuuksia ja hyötyjä. Pääosin tästä syystä Suomen konttisatamissa ei ole vielä investoitu kovin laajamittaisesti automaatioteknologiaihin porttitoimintojen automatisointia lukuun ottamatta. Haastateltavat tunnustivatkin useita keskeisiä haasteita ja esteitä automaatioinvestointien toteuttamiselle ja suurin osa heistä nostikin esille samoja haasteita. Keskeisimpiä haasteita ja esteitä ovat konttisatamien pienet konttivolyymit, taloudelliset syyt sekä Suomen sääolosuhteet. Automaatioteknologioiden käyttöönotto on kallista, ja sen taloudellinen hyöty jää vähäiseksi, ellei konttiterminaaleissa käsitellä huomattavasti nykyistä suurempaa määriä kontteja. Tämä liiketoiminnan kustannusrakenne yhdistettynä sääolosuhteiden tuomiin haasteisiin tekee automaation käyttöönotosta haastavaa Suomen konttisatamissa. Kuvioon 9 on koottu keskeisimmät automaatioinvestointien haasteet ja esteet.



Kuvio 9 Automaation haasteet ja esteet

6.4.1 Konttisatamien pienet volyymit

Suomen satamien pienet konttivolyymit on kaikkien haastateltavien keskuudessa tunnistettu sekä samalla keskeisimpänä pidetty este konttisatamien automatisoimiselle. Alhaisen liikennemäärien vuoksi automatisoinnin kustannus per yksikkö olisi aivan liian suuri ja korkeiden automaatioinvestointikustannusten takaisinmaksu haasteellista.

Mutta tämä skaala (eli pienet konttivolyymit) on se, missä näen, että se ongelma on (miksi ei automatisoida). (H1)

Suurin haaste on liikennemäärien pienuus. Satamien käsittelyvolyymit eivät ole riittäviä, jotta investoinnit automaatioon olisivat taloudellisesti kannattavia. (H6)

Eli ei vaan sitä liikennettä ole niin paljon (Suomessa), että tommoisia (suuria automaatioinvestointeja) kukaan olisi valmis tekemään, että se on niin järkyttävä rahasumma. (H2)

Haastateltavat luettelivat useita eri syitä konttisatamien alhaisille konttivolyymeille. Keskeisimpiä syitä ovat Suomen markkinoiden pieni koko ja syrjäinen maantieteellinen sijainti sekä Suomen konttisatamien rooli feeder-liikenteen päätesatamina. Näin ollen Suomeen ei siis tule suuria valtamerilaivoja eikä sitä kautta riittävästi konttivolyymejä. Lisäksi Suomen kautta ei myöskään ole juurikaan merkittävää kauttakulkuliikennettä. Samanlainen ongelma on havaittavissa myös muissa pienissä Itämeren alueen konttisatamissa, joissa ollaan suurin piirtein samalla tasolla automaation suhteen kuin Suomessa.

...volyymit ovat liian pienet, että ei ole kannattavaa investoida automaatioon ja ei oikein missään Itämeren alueen satamissa, kaikissa vähän sama ongelma, että kun kuitenkin näissä feeder-liikenteen satamissa, mihin ei tule valtamerilaivoja, niin ei ole sitä kautta riittävästi volyymia, niin se on se suurin syy, miksi automaatioon ei investoida. (...) markkina meillä on pelkästään Suomen markkina. Se kasvaa tasan sen verran, mikä Suomessa on mahdollista kasvaa. (...) totta kai meidän asema täällä nurkassa EU:n pääteasemana niin sanotusti, niin ei tässä hirveästi semmoista kauttakulkuliikennettä tai muuta tällaista ekstrapaa kyllä tule. (H5)

Suomi on pieni markkina eikä valtamerilaivat tule tänne. (...) Suomen syrjäinen sijainti vaikuttaa kanssa jonkun verran ja liikkuva tavaramäärä on niin pieni, että vaikka kaikki pistettäisiin kontteihin niin se TEU-määrä jää silti liian pieneksi. Täällä pohjoisessa asuu niin vähän väkeä ja täällä myös tuotetaan niin vähän niin ei sitä liikennettä vaan ole paljoa. (H6)

Suomeen suuntautuva konttiliikenne on lisäksi jakaantunut useaan eri konttisatamaan. Konttisatamissa toimii yleensä useampi satamaoperaattori, jotka edelleen jakavat konttisatamaan suuntautuvan konttiliikenteen. Suomeen suuntautuvan vähäisen konttiliikenteen voidaan siis sanoa olevan erittäin jakautunutta. Näin ollen yhdelle satamaoperaattorille ei yksinkertaisesti riitä tarpeeksi konttivolyymejä, jotta laajat automaatioinvestoinnit olisivat taloudellisesti kannattavia. Eräiden varovaisten arvioiden mukaan konttivolyymien tulisi olla noin miljoona TEU vuodessa, jotta laajamittaiset investoinnit automaatioteknologiaan olisivat taloudellisesti kannattavia. Ongelmaksi muodostuu kuitenkin se, että todellisuudessa Suomen suurimpien konttisatamien vuosittaiset konttivolyymit jäävät selvästi alle miljoonan TEU:n. Lisäksi tämä volyyymi jaetaan vielä useamman satamaoperaattorin kesken.

Elikkä liikennemäärät ovat niin alhaisia, että Suomen suurimman konttiterminaalin nostomäärät huitelee normaalina vuonna 650 000 TEU:ssa, niin se ei vaan riitä vielä se massa siihen (automaatioon). (H3)

Suomen konttisatamien mittakaavassa laajamittainen automaation hyödyntäminen ei siis ole taloudellisesti järkevää ilman liikennemäärien kasvua. Myös jo puoliautomaation laajamittainen hyödyntäminen vaatisi nykyistä selvästi suurempia konttivolyymejä. Näin ollen alhaisten konttivolyymien ohella toisena keskeisenä esteenä automaatioinvestointien toteuttamiselle ja automaatioteknologioiden laajamittaisemmalle hyödyntämiselle Suomessa konttisatamissa voidaan pitää taloudellisia esteitä.

6.4.2 Taloudelliset esteet

Toinen merkittävä haastateltavien keskuudessa tunnistettu este automaatioteknologioiden käyttöönotolle ovat siis taloudelliset syyt. Alhaisten konttivolyyymien vuoksi satamaoperaattoreiden ei ole taloudellisesti kannattavaa investoida automaatioteknologioihin. Markkinoilla olevat automaatioteknologiat sekä niiden käyttöönotto on kallista, eikä Suomessa toimiville verrattain pienille satamaoperaattoreille ole juuri tarjolla kustannustehokkaita automaatiotratkaisuja. Lisäksi useiden konttiterminaalien olemassa oleva infrastruktuuri vaatisi laajamittaista uudistamista automaatioteknologioiden käyttöönoton mahdollistamiseksi, mikä taas tarkoittaisi huomattavia taloudellisia panostuksia.

... ei ole kannattavaa liiketoimintaa pistää paukkuja siihen (automaatio)softaan, mikä on verrattain kallista. (...) softahinta, mitä se maksaa ja totta kai ne käsitellyt TEU-määrät niin vaikuttavat siihen. Elikkä pitäisi olla tavaraa paljon enemmän, jotta näihin pystyttäisiin investoimaan. (H5)

Suurin este on taloudellinen. Automaatiotratkaisut ovat kalliita, ja nykyinen infrastruktuurimme ei tue niitä ilman suuria muutoksia. Esimerkiksi terminaalien layout pitäisi muuttua, mikä tarkoittaisi valtavia investointeja. (H4)

Satamaoperaattoreiden toiminta on pääomavaltaista ja pienikatteista. Tästä syystä niiden investointikyky on erittäin rajallinen. Konttiterminaalissa käytettävät koneet ja laitteet itsessään ovat jo huomattavan kalliita ja automaatio lisää kustannuksia entisestään. Osaltaan näiden syiden vuoksi satamaoperaattoreiden mahdollisuudet investoida automaatioteknologioihin ovat rajalliset. Ilman merkittävää tulo-rahoitusta tai lainamahdollisuuksia laajat automaatioinvestoinnit eivät ole toteutettavissa.

Ne (automaatioteknologiat) ovat valtavan kalliita, että jos sulla ei ole mitään mahdollisuutta tehdä tulo-rahoituksella tämmöistä, eikä ole mahdollisuutta ottaa semmoisia lainoja, niin sehän on tekemätön paikka. (H2)

Oman haasteensa automaatioinvestointien toteuttamiselle Suomen konttisatamissa tuo myös se, että Suomen satamaoperaattorit kilpailevat kansainvälisessä vertailussa alhaisilla hinnoilla, mitä tulee konttien käsittelystä perittäviin maksuihin. Samalla ne joutuvat silti kattamaan korkeat kustannukset, jotka aiheutuvat pääasiassa kalliista työvoimakustannuksista. Konttien käsittelystä perittävät hinnat pysyvät alhaisina, koska vähäiset asiakkaat, eli Suomeen liikennöivät konttivarustamot, kilpailuttavat satamaoperaattorit aina sopimusten päättyessä. Satamaoperaattoreiden välinen kilpailu luo niin ikään haasteita automaation käyttöönotolle, koska hinnat pysyvät alhaisina eikä satamaoperaattoreiden ole näin ollen mahdollista kasvattaa voittojaan. Satamaoperaattoreiden välisen kilpailun,

alhaisten konttien käsittelystä perittävien maksujen ja pienten konttivolyymien yhtälön seurauksena satamaoperaattoreilla ei Suomessa yksinkertaisesti ole kykyä tai mahdollisuuksia investoida kalliisiin automaatioteknologioihin juuri korkeiden alkuinvestointikustannusten vuoksi.

Eurooppalaisellakin tasolla tämä ”terminal handling cost” on ihan naurettava Suomessa. Me saadaan tyyliin 100 € käsitellystä kontista, kun tuolla muualla se voi olla helposti 200 €. Sitten vielä kun on Euroopan kalleimmat työvoimakulut. Niin jos sulla on alhaisimmat hinnat ja kalleimmat työvoimakulut työvoimapainotteisella alalla, niin aika heikko yhtälö. (H2)

Jos me katsotaan niin kuin hintatasoa, mitenkä toi hinnoittelu menee Suomessa tuossa konttiliikenteessä, niin kyllähän tämä on konttiterminaalien halpamaa, jos verrataan hinnoittelua verrokkimaissa. Ruotsi, Tanska, Saksa, Belgia, Hollanti jopa Puola nykyään. Niin ei ole sitä investointikykyä kenelläkään (satamaoperaattorilla Suomessa). (H3)

6.4.3 Suomen sääolosuhteet

Suomen sääolosuhteet tuovat niin ikään oman haasteensa automaatioteknologioille.

... Suomen sääolosuhteet tuovat haasteita, joita monissa automaatioteknologioissa ei ole huomioitu. (H4)

Yksi haaste on tietysti se, että täällä on talvi ja talvi ei ole sille automaatiokalle se ihan helpoin juttu. (H1)

... haaste on Suomen haastavat olosuhteet, kuten talvi, lumi, jää ja vaihtelevat lämpötilat, jotka aiheuttavat ongelmia automaatioteknologialle. (...) Meillä Suomessa siis olosuhteetkin ovat vastaan monesti. (H6)

Suurin osa haastateltavista oli sitä mieltä, että Suomen sääolosuhteet, kuten lumiset talvet ja suuret lämpötilojen vaihtelut, tuovat merkittäviä haasteita automaattisten koneiden, laitteiden ja järjestelmien toiminnalle. Täyttä yhteisymmärrystä sääolosuhteiden automaatioteknologioille tuomista haasteista ei haastateltavien kesken kuitenkaan saatu. Eräs haastateltavista olikin sitä mieltä, etteivät Suomen talviolosuhteet estä automatisointia eivätkä talviolosuhteet ole ongelma automaatioteknologioille.

Moni pitää esimerkiksi Suomen sääntä ongelmana, että talvi on automaation este, niin se ei pidä paikkaansa. Se ei millään tavalla sitä automatisointia estä. Sää ei ole mikään ongelma. (H3)

Monet nykyisistä automaatioteknologioista on kuitenkin suunniteltu lähtökohtaisesti olosuhteisiin, joissa talvea tai suuria lämpötilavaihteluita ei tarvitse huomioida. Tämä asettaa haasteita etenkin juuri pohjoisille satama-alueille, joissa lumi, jää, vaihtelevat lämpötilat

ja muut pohjoiset olosuhteet vaikuttavat konttiterminaalien päivittäiseen operointiin. Esimerkiksi runsas lumentulo peittää asfalttiin tehdyt merkinnät ja samalla anturit saattavat vioittua, kun niihin kertyy lunta. Ongelmana on se, että monet autonomisesti liikkuvat koneet ja laitteet tarvitsevat juuri asfalttiin piirrettyjä merkintöjä ja antureita navigointiinsa. Lisäksi erityisesti talven sulamis- ja jäätymissyklit aiheuttavat haasteita, kun lyhyessä ajassa satanut suuri määrä lunta tammoutuu konttien väleihin, sulaa sitten plussakeleillä ja jäätyy uudelleen pakkasten tullessa. Lumisen ja jäisen maaston aiheuttamat vaikeudet, kuten koneiden juuttuminen lumihankiin tai liukastelu jäisellä konttikentällä konttipinojen välissä, lisää edelleen työskentelyn monimutkaisuutta. Vaikka antureiden ja muiden teknologioiden, kuten talvi- ja nastarenkaiden ja erilaisten piikkien avulla voidaan osittain vähentää näitä ongelmia, ne eivät kuitenkaan täysin korvaa ihmisen kykyä sopeutua vaihteleviin olosuhteisiin.

Ongelmana on, kun on kastepistettä ja sitten rullataan nollan molemmilla puolilla ja sulaa, jäätyy, sulaa, jäätyy ja niin edespäin. (H6)

On tärkeää huomata, että tämä ei kuitenkaan varsinaisesti ole teknologiaongelma. Kuten maailmalla automatisoiduissa konttisatamissa on nähty, tarjolla on jo olemassa olevia ja toimivaksi todettuja automaatiotratkaisuja. Lumiset talvet ja vaihtelevat sääolosuhteet eivät siis täysin estä automaation käyttöönottoa, mutta ne tuovat merkittävän haasteen automaatiotratkaisujen tehokkaalle hyödyntämiselle. Ne vaativat teknologian mukauttamista Suomen erityisiin sääolosuhteisiin. Tarvitaan siis luotettavia ja säänkestäviä ratkaisuja, jotka toimivat tehokkaasti kaikissa olosuhteissa. Se, milloin tällaista pohjoisiin olosuhteisiin sopivaa automaatioteknologiaa on saatavilla kustannustehokkaaseen hintaan, on epäselvää.

Se on niin iso se alkuinvestointi tällä hetkellä, että tavallaan tämä ei ole teknologiaongelma ainakaan täysin (...) Periaatteessa teknologia on ”out there” eli ei puhuta enää mistään piloteista, vaan puhutaan olemassa olevasta, toimivasta techistä, mitä pitäisi vähän modata, että ne toimisivat Suomessa. (H1)

6.4.4 Muut automaatioteknologioihin liittyvät haasteet

Edellä esiteltyjen kolmen merkittävimmän haasteen lisäksi haastateltavat tunnistivat automaatioteknologioiden käyttöönotossa myös muita haasteita. Näitä ovat muun muassa ammattiyhdistysliikkeiden vastustus, vanhan manuaalisen systeemin ja uuden automaattisen systeemin rinnakkaiskäyttö siirtymävaiheessa sekä automatisoitujen järjestelmien heikko häiriönsietokyky. Ammattiyhdistysliikkeillä eli ay-liikkeillä on perinteisesti ollut

erittäin vahva asema ahtausalalla, ja ay-liikkeet ovat tiedostaneet automaatioteknologioiden käyttöönoton vaikutuksen työpaikkoihin. Automaatio muuttaa työtehtäviä ja vähentää manuaalisen työn tarvetta, mikä voi johtaa työpaikkojen vähenemiseen tai uudelleen- koulutuksen tarpeeseen. Maailmalta on kantautunut uutisia, joissa ay-liikkeet ovat vastustaneet ankarasti automaatiohankkeita, koska ne ovat vähentäneet nykyisiä työpaikkoja. Suomessa ay-liikkeet eivät ole vielä kovin huolissaan työpaikkojen vähentymisestä automaation seurauksena, sillä automaation taso on vielä alhainen eikä merkittäviä automaatioinvestointeja ole suunnitteilla. Tulevaisuudessa automaatioteknologioiden pikkuhiljaa yleistyessä Suomessakin on kuitenkin varauduttava siihen, että ay-liikkeet saattavat vastustaa automaatioteknologioiden käyttöönottoa rajustikin. Työntekijöiden vastustus ja muutosvastarinta voivat näin ollen hidastaa automaation käyttöönottoa merkittävästi. Tällöin on tärkeää oikein toteutettu muutoksen johtaminen muutosvastarinnan välttämiseksi varmistamalla työntekijöiden tulevaisuus, koska satamatoimintojen automatisoituessa työpaikat yleensä muuttavat muotoaan, eivät välttämättä dramaattisesti vähene.

... työmarkkinajärjestöt ja ay-liikkeet ovat tiedostaneet sen (automaation ja työpaikkojen vähenemisen) kyllä, ja siitä oli muutama vuosi sitten oma tämänöinen automaatiotyöryhmä, joka selvitti tätä automaation tasoa Suomessa, mutta muistaakseni se päättyi siihen, että ei ole ihan hirveästi huolta tällä hetkellä siitä, että automaatio veisi työpaikkoja. (H5)

Haastateltavien mukaan haasteita aiheuttaa myös vanhan manuaalisen systeemin ja uuden automaattisen systeemin siirtymävaihe ja rinnakkaiskäyttö, joka voi johtaa tilapäisiin tehottomuuksiin. Eräiden haastateltavan mukaan muutos manuaalisesta operoinnista automaation operointiin tulisi toteuttaa siirtymävaiheessa niin, että esimerkiksi puolet terminaalialueesta toimisi vielä manuaalisesti, jolloin toimintaa tiivistetään väliaikaisesti sinne, samaan aikaan, kun toiselle alueelle rakennetaan uudet automaatiojärjestelmät. Tällöin toimintaa saatetaan joutua kuitenkin supistamaan tai jopa keskeyttämään. Jos taas automaatiojärjestelmät rakennetaan suoraan nykyisiin koneisiin ja laitteisiin, prosessi toteutetaan todennäköisesti muutama laite kerrallaan ja laitteita voisi edelleen käyttää manuaalisesti, vaikka niihin olisi asennettu automaatioteknologiat. Haasteeksi muodostuu kuitenkin se, että suurin osa nykyisistä lastinkäsittelylaitteista on edelleen dieselkäyttöisiä, jolloin niiden automatisointi ei ole kovin yksiselitteistä. Sähkökäyttöisten koneiden ja laitteiden automatisointi taas olisi helpommin toteutettavissa. Jotkut haastateltavista olivat kuitenkin sitä mieltä, ettei osittainen muutosvaihe manuaalisesta terminaalista automatisoituun terminaaliin olisi mahdollista, vaan siirtymä pitäisi tehdä yhdellä kertaa.

... sä joutuisit periaatteessa koko sen vanhan systeemin romuttamaan, sä et voi tehdä sitä osittain. Eihän sulla voi olla sellaista terminaalia, missä osa toimii automaattisesti ja osa ei. Sitten siellä olisi perinteisiä lukkeja niiden automaattisesti ohjattavien kääryjen kanssa ajamassa samoja laturia, niin kaikkiaan ymmärtää, että eihän siitä tule mitään. Se automatisointi pitäisi tehdä kertarysäyksellä ja se summa tulisi kerralla maksuun, ja se ei ole pieni summa. Sitten jos sä et tuota mitään, niin sä et oikein enää voisi laskea takaisinmaksuaikaa, kun tulos ei olisi voitollinen. (H2)

Konttiterminaalitoimintojen automatisointi aiheuttaa niin ikään kyberturvallisuushkien lisääntymisen ja osa haastateltavista tunnistaakin kyberturvallisuuteen liittyvät uhkat. Porttitoimintojen automatisointi on osaltaan parantanut konttisatamien fyysistä turvallisuutta, mutta monimutkaiset automaattisilla porteilla hyödynnettävät verkottuneet järjestelmät ja teknologiat sekä valvontakamerat osaltaan myös lisäävät turvallisuushkia riskinpaikkojen lisääntyessä. Satamaoperaattorit ovatkin joutuneet panostamaan turvallisuustason ylläpitämiseen, koska satamat ovat yleisiä kyberhyökkäysten kohteita ja automaatioteknologiat tekevät niistä haavoittuvaisempia. Porttiautomaatioiden katsotaan kuitenkin yleisellä tasolla edistäneen rikollisuuden torjuntaa.

... porttijärjestelmien automatisoinnin seurauksena riskinpaikkoja on tullut lisää ja siihen on hirveästi laitettu energiaa ja rahaa ja paukkuja sen turvallisuustason ylläpitämiseen. (...) kyberturvallisuus on tosi isossa roolissa tällä hetkellä. Siihen kyllä menee rahaa ja aikaa, että se pysyy sillä tasolla. (H3)

Lisäksi automatisoitujen, pääasiassa sähköllä toimivien järjestelmien häiriönsietokyky on heikko, joka aiheuttaa oman haasteensa. Jos sähköt menevät jostain syystä poikki, terminaalitoiminnot pysähtyvät. Harvemmin on olemassa mitään varajärjestelmiä, joita pystyttäisiin hyödyntämään tällaisessa tilanteessa. Manuaalisten, pääasiassa dieselkäyttöisten koneiden ja laitteiden, toimintavarmuus on sinällään siis suurempi.

... häiriönsietokykyhän on heikko, mutta sekin on ominaisuus, mikä on vaan hyväksyttävä, että jos sähköt menee poikki, kun joku kaivaa vesijohtoa ja siellä meneekin sähkökaapelit ja terminaalit pysähtyy. Näin tapahtuu aina silloin tällöin ja silloin ei voi tehdä mitään. Ei ole mitään backup-järjestelmää. Silloin seistään. (H3)

7 Johtopäätökset ja keskustelu

Tämän pro gradu -tutkielman tarkoituksena oli selvittää, missä määrin Suomen konttisatamissa hyödynnetään automaatiota tällä hetkellä ja millaisia suunnitelmia satamaoperaattoreilla on tulevaisuuden automaatioinvestointien suhteen. Lisäksi tutkimuksen avulla pyrittiin selvittämään, millaisia mahdollisuuksia ja hyötyjä, mutta toisaalta myös haasteita ja esteitä automaatioinvestoinnit tuovat Suomen konttisatamille. Tutkimus pyrki löytämään vastauksen tutkimusongelmaan varsinaisesta päätutkimuskysymyksestä johdettujen alatutkimuskysymysten avulla:

- 1) Miten automaatiota hyödynnetään Suomen konttisatamissa tällä hetkellä?
- 2) Miten automaatioon investoidaan Suomen konttisatamissa tulevaisuudessa?
- 3) Mitkä ovat automaatioteknologioiden Suomen konttisatamille tuomat mahdollisuudet?
- 4) Mitkä ovat automaatioteknologioiden Suomen konttisatamille tuomat haasteet sekä mahdolliset esteet automaatioinvestointien toteuttamiselle?

Empiirinen tutkimusaineisto kerättiin puolistrukturoitujen asiantuntijahaastatteluiden avulla Suomen konttisatamissa toimivilta satamayhtiöiltä ja -operaattoreilta. Haastattelussa hyödynnetty haastattelurunko muodostettiin tutkimuskirjallisuuden sekä teoreettisen viitekehyksen avulla. Haastatteluja järjestettiin yhteensä kuusi kappaletta. Haastattelujen avulla kerätyn empiirisen tutkimusaineiston analysoinnissa hyödynnettiin teemoittelun ja tyypittelyn keinoja.

7.1 Tutkimuksen johtopäätökset

Empiiriset tutkimustulokset osoittavat, että automaation hyödyntämisen taso Suomen konttisatamissa on vielä alhainen verrattuna älykkäisiin satamiin maailmalla. Suomen konttisatamissa automaatio on keskittynyt yksittäisiin osa-alueisiin, pääasiassa porttitoimintojen automatisointiin, koska ne ovat edullisin ja helpoin toiminto automatisoida. Myöskään tekoälyn, koneoppimisen ja IoT:n hyödyntäminen ei ole Suomen konttisatamissa vielä kovin pitkällä porttitoiminnoissa hyödynnettäviä teknologioita lukuun ottamatta. Maailman johtavissa älykkäissä konttisatamissa automaatioteknologioita taas hyödynnetään laajasti useissa eri terminaalitoiminnoissa aina satamalaiturilta terminaalin

porteille asti (Rodrique & Notteboom 2021). Näissä satamissa hyödynnetään etäohjattavia laiturinostureita, AGV-ajoneuvoja ja miehittämättömiä terminaalitraktoreita konttien horisontaaliseen kuljetukseen sekä ARMG:tä ARTG:tä tai AutoStradia konttien vertikaaliseen kuljetukseen. (Knatz ym. 2022.) Empiiristen tutkimustulosten mukaan Suomen konttisatamissa edellä mainitut toimenpiteet hoidetaan edelleen pääasiassa manuaalisesti STS-nostureiden, lukkien, konttikurottajien, RTG:n ja vetomestareiden avulla. Suomen konttisatamissa hyödynnetään automatisoitujen porttitoimintojen yhteydessä maailmalla-kin satamaoperaattoreiden keskuudessa yleisesti hyväksytyjä OCR- ja RFID tunnistustekniikoita yhdistettynä tekoälyn ja koneoppimisen tekniikoihin (Chao & Lin 2017). Näiden tekniikoiden avulla automaattiset porttijärjestelmät pystyvät tehokkaasti skannaamaan ja tunnistamaan alueelle saapuvien ajoneuvojen ja konttien tiedot ja luvat sekä tunnistamaan mahdolliset konttivauriot. Taulukko 10 tiivistää automaatioteknologioiden hyödyntämisen eri terminaalitoiminnoissa Suomen konttisatamissa sekä älykkäissä satamissa maailmalla.

Taulukko 10 Automaatio Suomen konttisatamissa vs. älykkäissä satamissa maailmalla

Terminaalitoiminto	Suomen konttisatamat	Älykkäät konttisatamat
Porttitoiminnot	Automatisoidut porttijärjestelmät, OCR- ja RFID-teknologiat	Automatisoidut porttijärjestelmät (OCR, RFID), tekoäly ja koneoppiminen laajasti hyödynnetty
Konttien horisontaalinen kuljetus	Manuaalinen (lukit, vetomestarit)	AGV-ajoneuvot, miehittämättömät terminaalitraktorit
Konttien vertikaalinen kuljetus	Manuaalinen (RTG-nosturit, konttikurottaja)	ARMG, ARTG, Autostrad
Laituritoiminnot	Manuaaliset STS-nosturit	Etäohjattavat, puoliautomatisoidut laiturinosturit

Suomen konttisatamien tämänhetkisen automaation keskeisimpänä ajurina voidaan empiiristen tutkimustulosten mukaan pitää kustannussäästöjä. Myös Kon ym. (2020) ja Kantz ym. (2023) ovat nostaneet tutkimuskirjallisuudessa kustannussäästöjen näkökulman yhdeksi keskeisimmistä automaation ajureista. Empiiristen tutkimustulosten mukaan porttitoimintojen automatisoinnilla on kyetty säästämään etenkin korkeissa työvoimakustannuksissa. Knatzin ym. (2023) tutkimuksen ohella myös Suomessa on yleisesti tunnis-

tettu automaation ajurina terminaali-alueella käytettävissä olevan tilan tehokkaampi hyödyntäminen. Automatisoidut porttitoiminnot ehkäisevät ruuhkien syntymistä ja nopeuttavat kuorma-autojen kääntöaikoja, joka taas vaikuttaa niiden aiheuttamien päästöjen vähenemiseen joutokäynnin vähentyessä. Lisäksi inhimillisten virheiden vähentäminen ja turvallisuuden lisääntyminen ovat toimineet Suomessa merkittävinä, tutkimuskirjallisuudessaakin yleisesti tunnistettuina automaation ajureina (Rodrique & Notteboom 2021; Knatz ym. 2023).

Empiiristen tutkimustulokset osoittavat, että automaatioinvestointien tuomia keskeisiä mahdollisuuksia ja hyötyjä ovat operatiivisen tehokkuuden ja tuottavuuden parantaminen, kustannusten alentaminen, ympäristöystävällisyyden edistäminen sekä turvallisuuden ja turvatoimien lisääminen. Myös tutkimuskirjallisuudessa Kon ym. (2020) ja Knatz ym. (2023) ovat linjanneet nämä neljä näkökulmaa keskeisimmiksi automaatioteknologioiden hyödyiksi. Operatiivisen tehokkuuden ja tuottavuuden näkökulmasta laiturinostureiden ja muiden lastinkäsittelylaitteiden etäohjauksen avulla tehollista työaikaa saadaan lisättyä selvästi, kun kuljettajien siirtymämatkoihin, taukoihin ja vuoronvaihtoihin kuluva aika vähenee. Toiminnan tehostuminen ja tuottavuuden lisääntyminen ovat seurausta epävarmuuden poistamisesta sekä tasaisemmasta ja ennustettavammasta operoinnista, joka ehkäisee suorituskyvyn vaihtelut ja mahdollistaa pitkän aikavälin tehokkuuden. Etenkin Martín-Soberón ym. (2014) tutkimus alleviivaa tätä näkemystä. Empiiristen tutkimustulosten mukaan automaation avulla voidaan mahdollistaa niin ikään ympärivuorokautinen operointi. Kone tekee saman työn ilman tauoista ja vuoronvaihtoista johtuvia tuotannon keskeytyksiä. Tutkimuksesta käy ilmi, että automaation avulla voidaan lisäksi optimoida koneiden ja laitteiden liikkeitä sekä lyhentää niiden matka-aikaa vähentäen näin turhaa työtä. Edellä mainittuja automaation hyötyjä painottaa myös esimerkiksi Knatzin ym. (2023) tutkimus. Rodriquen ja Notteboomin (2021) sekä Jobran ja Karan (2022) tutkimusten mukaan konttiterminaalien automatisoinnin seurauksena operatiivisen tehokkuuden ja tuottavuuden parantumisessa onkin kyse vakauden ja operatiivisen suorituskyvyn johdonmukaisuuden saavuttamisesta.

Työvoimakustannusten vähentäminen on empiiristen tutkimustulosten mukaan keskeisin automaatioinvestointien tuoma hyöty kustannustehokkuuden näkökulmasta tarkasteltuna. Ahtaus-ala on erittäin työvoimavaltainen ala, joten automaatioteknologioiden avulla saadaan ihmisvoimin suoritettavaa työtä korvattua puoliautomaattisilla tai täysin autonomisilla koneilla. Tällöin on mahdollista säästää merkittävästi työntekijöiden palkkakustan-

nuksissa sekä muissa työvoimaa liittyvissä lisäkustannuksissa. Tutkimuskirjallisuudessa Kon ym. (2020) ja Knatz ym. (2023) alleviivaavat, että automaatio mahdollistaa resursien paremman hyödyntämisen ja työvoimakustannusten vähentämisen. Rodrigue ja Notteboom (2021) taas korostavat, että konttiterminaalitoimintojen automatisointi siirtää kustannusrakennetta työvoimavaltaisesta kohti pääomakustannusvaltaisempaa kustannusrakennetta. Empiiristen tutkimustulosten mukaan merkittäviä kustannussäästöjä voidaan saavuttaa niin ikään konttivahinkoihin liittyvien reklamaatioiden käsittelyssä, kun automaattisen kamerateknologian avulla pystytään osoittamaan kontin kunto kussakin käsittelyn vaiheessa. Automaation avulla voidaan lisäksi vähentää terminaalitoimintojen kustannuksia käsiteltyä yksikköä kohti ja näin ollen leikata käyttökustannuksia, mutta kuten Knatz ym. (2023) muistuttavat, mikäli konttiterminaalissa ei savuteta lastinkäsittelyssä toistuvuutta, ennustettavuutta ja vähäistä lastimäärän vaihtelua, automatisoitujen konttiterminaalien lastinkäsittelykustannukset yksikköä kohden voivat ylittää perinteisten konttiterminaalien kustannukset.

Empiiristen tutkimustulosten analysointi osoittaa, että automaatioinvestointien keskeiset hyödyt ympäristöystävällisyyden näkökulmasta tulevat toimintojen sähköistämisen kautta, sillä automatisoidut koneet ja laitteet ovat todennäköisesti sähkökäyttöisiä. Rodriguen ja Notteboomin (2021) tutkimus korostaa tätä väitettä ja samalla he lisäävät, että sähköistäminen ehkäisee myös melusaasteen syntymistä. Automaation avulla voidaan optimoida konttien horisontaalinen ja vertikaalinen kuljetus, jolloin koneet ja laitteet noudattavat tarkasti optimoituja reittejä, minimoivat liikkumiseen käytetyt matkat ja turhat siirrot sekä noudattavat taloudellista ajotapaa. Tämä ei pelkästään tehosta terminaalitoimintoja, vaan parantaa myös niiden ympäristöystävällisyyttä pienentäen hiilijalanjälkeä. Notteboom ym. (2022) alleviivaavat lastinkäsittelylaitteiden kulkemien reittien optimoinnin merkitystä ja lisäävät, että optimoinnin seurauksena myös alusten ja kuorma-autojen kääntöaikaa voidaan lyhentää, mikä taas edelleen vähentää niiden toiminnasta aiheutuvia hiilidioksidipäästöjä ja säästää energiaa. Myös empiiriset tutkimustulokset tukevat edellä mainittua väitettä. Heikkilä ym. (2022) mukaan etenkin automaation taustatekijöinä toimivien tekoälyn ja IoT:n voidaan mahdollistaa energiatehokkuuden optimointi ja resursien käytön tarkempi hallinta, mikä parantaa ympäristöystävällisyyttä ja tukee kestävä kehityksen tavoitteita. Sekä empiiriset tutkimustulokset että tutkimuskirjallisuus korostavat lisäksi, että automatisoinnin parantaessa konttiterminaalien energiatehokkuutta, on mahdollista säästää myös energiakustannuksissa (Notteboom ym. 2022).

Työturvallisuuden parantaminen ja inhimillisten virheiden väheneminen ovat empiiristen tutkimustulosten mukaan keskeisimpiä automaatioinvestointien hyötyjä turvallisuuden ja turvatoimien näkökulmasta tarkasteltuna. Automaatioteknologioiden implementoinnin myötä konttiterminaalien turvallisuus paranee merkittävästi, sillä automaattiset ja etäohjattavat lastinkäsittelylaitteet vähentävät ihmisten altistumista vaarallisille työympäristöille ja tapaturmille. Knatz ym. (2023) alleviivaavat, että automaatio poistaa työntekijät vaarallisista olosuhteista sekä vähentää inhimillisiä virheitä, mikä lisää työturvallisuutta. Automatisoidut porttijärjestelmät tarjoavat niin ikään tehokkaan kulunvalvonnan satama-alueella estäen luvattoman kulkemisen. Ne pystyvät valvomaan myös kyberuhkia sekä reagoimaan niihin nopeasti. Lisäksi automatisoitujen porttijärjestelmien avulla konttien siirtäminen väärillä dokumenteilla terminaaliin tai sieltä pois on huomattavasti vaikeampaa verrattuna manuaalisiin järjestelmiin. de la Peña Zarzuelon ym. (2020) tutkimustulokset korostavatkin automaation ja digitaalisten valvontajärjestelmien merkitystä turvallisuudelle. Empiiriset tutkimustulokset osoittavat myös, että drooneja voidaan hyödyntää satama-alueen valvonnassa, kuvaamisessa sekä tilannekuvan jakamisessa, mikä edistää koko satama-alueen turvallisuuden parantamista. Inkinen ym. (2021) ovat samoilla linjoilla droonien käytön suhteen.

Empiiristen tutkimusten mukaan niin ikään työergonomian parantuminen automaatioteknologioiden käyttöönoton seurauksena on yksi automaatioinvestointien keskeisistä hyödyistä. Tutkimustulokset osoittavat, että lastinkäsittelylaitteiden etäohjauksen avulla voidaan merkittävästi parantaa kuljettajien työergonomiaa ja edistää työskentelyolosuhteita ehkäisemällä hankalien työskentelyasentojen työntekijöiden keholle aiheuttamia ongelmia. Automaatio ja lastinkäsittelylaitteiden etäohjaus vähentävät myös kuljettajien määrän tarvetta ja näin ollen mahdollistavat henkilöstökustannusten vähentämisen. Empiiristen tutkimustulosten mukaan automatisoinnin avulla poistuisi myös työntekijöiden lakkoilu sekä työvoiman ja resurssien saatavuuteen liittyvät epävarmuustekijät. Alla olevaan kuvioon 10 on koottu automaatioinvestointien keskeisimpien ajurien ja hyötyjen lisäksi myös merkittävimmät haasteet tai esteet automaatioinvestointien toteuttamiselle.



Kuvio 10 Automaatioinvestointien keskeiset hyödyt ja haasteet

Automaatioteknologioiden laajamittainen käyttöönotto kohtaa tällä hetkellä suurempia haasteita ja esteitä, kuin tarjoaa mahdollisuuksia ja hyötyjä. Tästä johtuen merkittäviä investointeja automaatioteknologiaihin ei ole toistaiseksi tehty lukuun ottamatta portti-toimintojen automatisointia. Keskeisimpiä haasteita ja esteitä ovat empiiristen tutkimustulosten mukaan pienet konttivolyymit, korkeat alkuinvestointikustannukset sekä Suomen sääolosuhteet. Alhaisten konttivolyymien vuoksi laajat investoinnit automaatioteknologiaihin eivät ole Suomen konttisatamissa taloudellisesti kannattavia ja automaation kustannus per käsitelty yksikkö on liian korkea. Syrjäinen maantieteellinen sijainti, markkinoiden pieni koko ja konttisatamien rooli feeder-liikenteen päätesatamina rajoittavat Suomeen suuntautuvia liikennemääriä. Lisäksi vähäinen konttiliikenne jakautuu useiden eri satamien ja satamaoperaattoreiden kesken, mikä tekee merkittävistä automaatioinvestoinneista taloudellisesti kannattamattomia. Behdani (2023) alleviivaakin tutkimuksessaan, että osin alhaisten konttivolyymien vuoksi monilla pienillä satamilla ei ole talou-

dellisiä resursseja toteuttaa laajoja automaatiohankkeita korkeiden pääoma- ja investointikustannusten vuoksi.

Martín-Soberón ym. (2014) painottavat, että terminaalitoimintojen automatisointi vaatii huomattavia pääomasijoituksia uusiin teknologioihin ja laitehankintoihin. Empiiristen tutkimustulosten mukaan automaatioteknologioiden käyttöönottoa rajoittavatkin merkittävästi taloudelliset haasteet. Alhaiset konttivolyymit tekevät automaatioinvestoinneista suhteettoman suuria suhteessa mahdollisiin tuottoihin. Satamaoperaattorit operoivat pienillä voittomarginaaleilla ja kilpailevat kansainvälisesti alhaisilla konttien käsittelymaksuilla. Korkeat työvoimakustannukset ja alhaiset hinnat heikentävät entisestään satamaoperaattoreiden kykyä tehdä suuria investointeja. Näin ollen automaatioteknologioiden hinta ja satamaoperaattoreiden rajalliset rahoitusmahdollisuudet estävät laajojen automaatiohankkeiden toteuttamisen. Tutkimuskirjallisuudessa Martín-Soberón ym. (2014) ja Behdani (2023) korostavatkin, että huomattavat alkuinvestointikustannukset ovat yksi suurimmista esteistä automaatioteknologioiden käyttöönotolle.

Empiiristen tutkimustulosten mukaan sääolosuhteet, kuten lumiset talvet ja suuret lämpötilavaihtelut, tuovat merkittäviä haasteita automaatioteknologioiden toiminnalle ja käyttöönotolle Suomen konttisatamissa. Monet automaatoratkaisut on suunniteltu ympäristöihin, joissa talviolosuhteita ei tarvitse huomioida, mikä vaikeuttaa niiden käyttöä pohjoisilla satama-alueilla. Ongelmia aiheuttaa etenkin lumen sulaminen ja jäätyminen lämpötilan sahattessa nollan molemmin puolin. Sääolosuhteet eivät kuitenkaan täysin estä automaation käyttöönottoa, mutta ne vaativat nykyisellään pohjoisiin sääolosuhteisiin mukautettavia teknologisia ratkaisuja, joiden saatavuus kustannustehokkaasti on kuitenkin kysymysmerkki.

Ammattiliitot tai -yhdistykset voivat niin ikään aiheuttaa haasteita automaatiohankkeiden toteuttamisessa. Martín-Soberón ym. (2014) mukaan terminaalitoimintojen automatisointi saattaa aiheuttaa häiriöitä nykyisiin työsuhteisiin ja vakiintuneisiin toimintatapoihin. Ay-liikkeillä on perinteisesti vahva asema satama- ja ahtausalalla, ja ne ovat yleensä vastahakoisia automaatioinvestointien toteuttamisen suhteen, koska automaation käyttöönotto muuttaa työtehtäviä ja johtaa yleensä työpaikkojen vähenemiseen. Rodrique ja Notteboom (2021) muistuttavatkin, että automaatio voidaan ottaa käyttöön vasta, kun ay-liikkeiden kanssa on päästy sopimukseen työpaikkojen tulevaisuudesta. Empiiristen tutkimustulosten mukaan Suomessa ay-liikkeet eivät kuitenkaan ole vielä kovin huolissaan

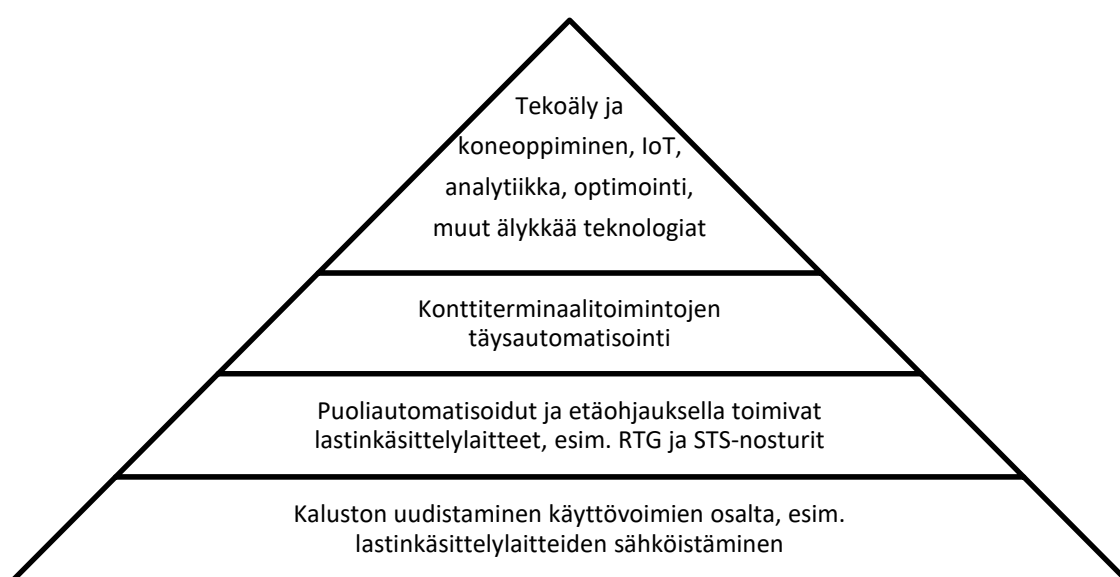
työpaikkojen vähentymisestä automaation implementoinnin seurauksena, mutta tulevaisuudessa Suomessakin on varauduttava ay-liikkeiden ja työntekijöiden muutosvastarintaan automaatioteknologioiden käyttöönottoa suunniteltaessa.

Tutkimuskirjallisuuden mukaan kyberturvallisuushkat ovat lisääntyneet konttiterminaalien automatisoinnin sekä digitaalisen kehityksen seurauksena (de la Peña Zarzuelo 2021). Kyberturvallisuushkien tuoma haaste tunnistetaan myös empiiristen tutkimustulosten analysoinnin yhteydessä. Kyberturvallisuushkat liittyvät monimutkaisiin ja automatisoituihin järjestelmiin, verkkoihin, turvateknologioihin, tekoälyyn ja IoT-tekniikkaan, jotka on integroitu keskenään. Vaikka automatisoidut porttijärjestelmät ovat parantaneet fyysistä turvallisuutta, ne ovat samalla lisänneet kyberturvallisuusriskejä, joiden seuraukset vaihtelevat sosiaalisista vaikutuksista merkittäviin taloudellisiin menetyksiin.

Empiiristen tutkimustulosten mukaan Suomen satamaoperaattoreilla ei tällä hetkellä ole käynnissä merkittäviä automaatiohankkeita eikä tulevaisuuden automaatioinvestointisuunnitelmista ei ole tehty lopullisia päätöksiä. Joitakin pieniä investointeja on suunnitella nykyisiin automaatioteknologioihin. Satamaoperaattorit tunnistavat kuitenkin tarpeen automaatioinvestoinneille ja seuraavat aktiivisesti tilannetta. Tutkimustulosten mukaan tulevaisuuden investoinnit Suomen konttisatamissa painottuvat todennäköisesti ensin kaluston uudistamiseen niiden käyttövoimien osalta, kuten sähköisiin koneisiin ja laitteisiin. Vasta tämän jälkeen investoinnit suuntautuisivat mahdollisesti automatisoituihin lastinkäsittelylaitteisiin. Automaation suhteen kehitys on ensin kohti etäohjausta ja puoliautomaatiota esimerkiksi lukkien, RTG:n ja STS-nosturien osalta, ja vasta tämän jälkeen tulisi kysymykseen konttiterminaalitoimintojen täysautomatisointi. Satamaoperaattoreiden tavoitteena tulisi tulevaisuudessa olla autonominen tai edes puoliautomatisoitu työkone, mutta niiden laajamittaisempaan käyttöönottoon voi kuitenkin Suomessa mennä vielä toista kymmentä vuotta. Joka tapauksessa tarkkaa ajankohtaa on asiantuntijoiden mukaan mahdotonta määritellä ja ajankohta jakaakin runsaasti mielipiteitä. Nykytilan analyysi kuitenkin osoittaa, että vaikka automaation kehitys Suomen konttisatamissa on hidasta, se etenee oikeaan suuntaan. Tästä hyvänä esimerkkinä toimiikin pienimuotoinen puoliautomaatio erään satamaoperaattorin laiturinosturissa sekä alustavat suunnitelmat investoida etäohjattaviin laiturinostureihin.

Samalla kun Suomessa katse on seuraavaksi kohti lastinkäsittelylaitteiden sähköistämistä sekä investointisuunnitelmia perinteisiin automaatioteknologioihin, on satama 4.0:n aika-

kaudella maailmalla katseet käännetty jo kohti perinteistä automaatiota pidemmälle menevää horisonttia. Älykkäissä satamissa pyritään hyödyntämään laajasti tekoälyä ja koneoppimista, dynaamista aikataulutusta sekä kehittyneen analytiikan avulla tehtävää optimointia. Tavoitteena olisi optimoida koko konttisataman ja sen ekosysteemin toimintaa, mikä tekisi satamista entistä joustavampia ja tehokkaampia teknologiakeskuksia. Satamat voivat pyrkiä hyödyntämään toiminnassaan laajoja tietoaineistoja sekä kehittyneitä analyysieja kyetäkseen tasapainottamaan monimutkaisia useiden muuttujien kuljetusverkostoa. (Chu ym. 2018.) Robotiikan ja muiden automatisoitujen laitteiden lisääntyvä käyttö tulee todennäköisesti lisäämään koneiden sekä ihmisten vuorovaikutusta (engl. *human-machine interaction*) sekä tekemään tästä vuorovaikutuksesta entistä tärkeämpää. AR:n ja VR:n kaltaiset älykkäät teknologiat saattavat ohjata AGV-ajoneuvoja, drooneja sekä muita lastinkäsittelyyn käytettäviä robotteja konttiterminaalin alueella. Tekoälyn ja koneoppimisen avulla ihmiset voisivat ohjelmoida automatisoituihin järjestelmiin omia kokemuksiaan sekä arvostelukykyään. Tämän lisäksi järjestelmät kykenisivät mahdollisesti myös itse oppimaan omasta kokemuksestaan. Koneoppimisen ja analytiikan sovelluksia hyödyntämällä voitaisiin mahdollisesti parantaa konttiterminaalien suorituskykyä tuottamalla parempia kysyntäennusteita sekä optimoimalla terminaalitoimintoja. Tekoälyn, koneoppimisen ja IoT:n teknologioita voitaisiin tulevaisuudessa todennäköisesti hyödyntää myös lastinkäsittelylaitteiden huoltotarpeen ennakointiin. Ne voisivat mahdollistaa esimerkiksi STS-nostureiden ja ARTG/ARMG:n ennakoivan etähuollon. (Chu ym. 2018.) Kuvio 11 havainnollistaa automaation tulevaisuuden kehitystä Suomessa ja maailmalla.



Kuvio 11 Automaation tulevaisuuden kehitys

Satama 4.0:n teknologioiden kehittymisen sekä digitalisaation myötä automatisoidut konttiterminaalit ovat siirtyneet nopean kehityksen aikaan ja sanomattakin selvää, että automatisoidut konttiterminaalit korvaavat tulevaisuudessa perinteiset, manuaaliset konttiterminaalit (Yu ym. 2022).

7.2 Tutkimuksen teoreettinen ja käytännön kontribuutio

Tutkimustulosten sovellettavuutta ja hyödyntämismahdollisuuksia voidaan pohtia tutkimuksen teoreettisen kontribuution näkökulmasta. Aikaisempi konttisatamien automaatioon liittyvä tutkimuskirjallisuus on keskittynyt pääasiassa tarkastelemaan aiheita kansainvälisessä, maailman suurimpien älykkäiden satamien kontekstissa (ITF ym. 2021; Rodrique & Notteboom 2021; Knatz ym. 2022; Notteboom ym. 2022) ja tämän tutkimuksen tulokset linkittyvätkin keskeisesti etenkin aiempaan tutkimukseen konttiterminaalien automaation hyödyistä ja haasteista (Martín-Soberón ym. 2014; Kon ym. 2020; Knatz ym. 2023). Koska aikaisempi tieteellinen tutkimus automaation hyödyntämisestä pienissä konttisatamissa on vähäistä, tämä tutkimus tarjoaa uutta tietoa automaation nykytilasta ja tulevaisuuden kehityksestä kooltaan pienten ja alhaisemmilla konttivolyymeillä operoivien satamien näkökulmasta, joiden on kuitenkin toimittava samassa kansainvälisessä linjaliikenneverkostossa kooltaan suurten, täysin automatisoitujen konttisatamien kanssa. Vaikka tämän tutkimuksen kohteena olivat Suomen konttisatamat, niin kuten empiiristen tutkimustulosten analysoinnissakin tuli ilmi, ovat tämän tutkimuksen tulokset yleistettävissä myös muihin pienempiin Itämeren alueen konttisatamiin, joille toiminnan tyypillinen luonne aiheuttaa vastaavanlaisia haasteita ja toisaalta myös mahdollisuuksia. Tutkimustulosten yleistettävyyttä voidaan niin ikään perustella Itämeren alueen pienten konttisatamien ominaisuuksien sekä niiden toimintaperiaatteen samankaltaisuuksilla, joita ovat esimerkiksi konttisatamien pieni koko ja alhaiset konttivolyymit, satamien rooli feeder-liikenteen satamina sekä etenkin pohjoisen Itämeren alueella sääolosuhteiden aiheuttamat haasteet. Näin ollen tutkimuksen teoreettinen kontribuutio ja uutuusarvo tulevat etenkin tietämyksen lisäämisestä Itämeren alueen pienempien konttisatamien automaation nykytilan ja tulevaisuuden kehityksen kontekstista, ei niinkään pelkästään Suomen konttisatamien kontekstista. Tutkimustuloksia on lisäksi mahdollista soveltaa niin ikään muihinkin pienillä konttivolyymeillä operoiviin konttisatamiin muuallakin maailmassa.

Tutkimuksen teoreettisen kontribuution lisäksi sen sovellettavuutta ja hyödyntämismahdollisuuksia voidaan tarkastella tutkimuksen käytännön kontribuution näkökulmasta.

Käytännön tasolla tutkimus tarjoaa selkeän ajankohtaiskatsauksen pienten konttisatamien automaation nykytilaan ja tulevaisuuden näkymiin sekä tuo esille mahdolliset kehitystarpeet. Tutkimus antaa etenkin satamaoperaattoreille konkreettisia suosituksia sekä käytännönläheisiä perusteluja siitä, miten automaatioteknologioiden käyttöä voitaisiin konttisatamissa laajentaa ja kehittää. Samalla tutkimus lisäksi analysoi, millaisella aikataululla automaatioinvestointien toteuttaminen voisi potentiaalisesti olla mahdollista. Lisäksi tutkimuksen avulla voidaan auttaa satamaoperaattoreita ja muita konttisataman keskeisiä sidosryhmiä tunnistamaan, millaisia konkreettisia hyötyjä konttisatamissa voidaan automaatioinvestointien avulla saavuttaa, sekä mitkä tekijät aiheuttavat merkittäviä haasteita tai tosiasiaa estävät automaatioinvestointien toteuttamisen. Tutkimuksen löydökset voivat siis auttaa satamaoperaattoreita, ja jossain määrin myös satamayhtiöitä, suunnittelemaan automaatiohankkeita ja tukemaan päätöksentekoa, joka liittyy automaatioteknologioiden käyttöönottoon.

7.3 Tutkimuksen rajoitukset ja jatkotutkimusehdotukset

Tutkimuksen laadun arvioinnin lisäksi myös tutkimuksen rajoituksia voidaan pohtia Lincolnin ja Guban (1985) esittämien neljän näkökulman kautta. Nämä näkökulmat olivat uskottavuus, siirrettävyys, luotettavuus ja vahvistettavuus. Uskottavuuden näkökulmasta tarkasteltuna voidaan todeta, että vaikka ainakin osittainen saturaatiopiste saavutettiin kuuden puolistrukturoidun asiantuntijahaastattelun avulla, olisi suurempi otoskoko mahdollisesti tuonut vielä lisää näkökulmia. Kuitenkin jo kuuden haastattelun perusteella saatiin pääasiassa hyvin samankaltaisia vastauksia. Etenkin useamman kuin yhden satamayhtiön haastattelemineen olisi voinut mahdollistaa uusia näkökulmia. Niin ikään muiden konttisataman sidosryhmien, kuten automaatioteknologioita tarjoavien yritysten, työntekijöiden tai varustamoiden, haastattelemineen olisi saattanut avata uusia näkemyksiä automaatiosta ja sen tulevaisuuden kehityksestä. Toisaalta konttisatamissa toteuttavista automaatioinvestoinneista ovat pääasiassa vastuussa satamaoperaattorit, joita haastateltiin kattavasti ja heiltä saatiin riittävästi dataa laajojen päätelmien tekemiseksi. Näin ollen ei koettu enää tarpeelliseksi toteuttaa enempää haastatteluja. Empiirisen tutkimusaineiston rajallinen määrä voi kuitenkin jossain määrin rajoittaa tutkimustulosten yleistettävyyttä, erityisesti siitä syystä, että tutkimus keskittyy vain Suomen konttisatamissa ope-roiiviin toimijoihin ja heidän näkemyksiinsä.

Siirrettävyyden näkökulmasta kovin merkittäviä rajoituksia tutkimukselle ei ole havaittavissa, koska empiirisen tutkimuksen perusteella tehdyt johtopäätökset linkittyvät selvästi aiempiin tutkimustuloksiin ja tutkimuskirjallisuuteen, kuten johtopäätösten analysoinnin yhteydessä voidaan huomata. Kuitenkin, koska tutkimus kohdistuu Suomen erityisolosuhteisiin, kuten pieniin konttivolyymeihin ja sääolosuhteisiin, voi tutkimustulosten soveltaminen muihin maihin olla jossain määrin haastavaa, pois lukien Suomen kanssa samalla maantieteellisellä alueella sijaitsevat ja suurin piirtein samaa kokoluokkaa olevat maat.

Tutkimuksen luotettavuutta rajoittaa se, että vaikka tutkimusprosessi on dokumentoitu huolellisesti ja esitetty lukijalle loogisesti, ovat päätelmät yhden tutkijan tekemiä, jolloin niiden johdonmukaisuus voi olla heikompi verrattuna tutkimuksiin, joissa on useita tutkijoita. Tällöin ajatusten vaihto tutkimusryhmän kesken voi mahdollistaa johdonmukaisemmat päätelmät ja tulosten loogisemman esittämistavan. Vaikka laadullinen tutkimus tarjoaakin syvällisiä näkemyksiä, haastattelujen ja tutkimustulosten analyysin subjektiivisuus voi vaikuttaa johtopäätösten luotettavuuteen. Myös tutkijan oma ennakkokäsitys voi ohjata empiiristen tutkimustulosten tulkintaa.

Tutkimuksen vahvistettavuutta pyrittiin lisäämään hyödyntämällä empiiristen tutkimustulosten analysoinnin yhteydessä suoria lainauksia haastateltavien vastauksista, jotta johtopäätökset olisivat mahdollisimman realistisia ja epäjohdonmukaisia. Tässäkin tapauksessa tutkija oli kuitenkin yksin vastuussa päätelmien paikkansapitävyydestä ja niiden loogisesta esittämistavasta. Haastattelujen analysointi on pyritty tekemään mahdollisimman objektiivisesti, mutta tulosten tulkintaan liittyvä subjektiivisuus voi olla rajoittava tekijä tutkimuksen vahvistettavuuden näkökulmasta. Tutkimuksen vahvistettavuuden parantamiseksi voisikin olla hyödyllistä, jos tutkimuksen tulokset vahvistettaisiin riippumattomien tutkijoiden toimesta.

Tämä tutkimus hyödynsi laadullisia tutkimusmenetelmiä, mikä mahdollisti syvällisen perehtymisen haastateltavien näkemyksiin Suomen konttisatamien automaatiosta ja sen tulevaisuuden kehityksestä. Kuitenkin myös metodologiset valinnat osaltaan aiheuttavat rajoituksia tutkimukselle. Kvantitatiivisen tutkimusaineiston, kuten tilastollisten analyysien, puute esimerkiksi automaatioinvestointien kustannuksista tai konttivolyymien vaikutuksista, rajoittivat mahdollisuuksia tehdä numeerisia johtopäätöksiä. Kvantitatiivisten menetelmien hyödyntäminen tässä tutkimuksessa laadullisten menetelmien lisäksi olisi

kuitenkin näillä olemassa olevilla tutkimuksen rajauksilla tehnyt tutkimuksesta liian laajan. Tämän lisäksi tutkimukselle saattaa aiheuttaa rajoituksia haastateltavien organisaatioiden mahdolliset liikesalaisuudet, joita ei haluta kerrottavan julkisuuteen, ja joihin tutkijalla ei näin ollen ole ollut pääsyä. Edellä esitellyistä tutkimuksen rajoituksista huolimatta tämä pro gradu -tutkimus tarjoaa arvokkaita näkemyksiä Suomen konttisatamien automaation nykytilasta ja tulevaisuuden kehityksestä, jotka toimivat hyvänä pohjana jatkotutkimukselle.

Jatkotutkimusehdotusten analysointi on tärkeä osa tutkimusta, koska se voi avata uusia näkökulmia aiheeseen sekä mahdollistaa tutkimusalueen laajentamisen. Tämän tutkimuksen osalta jatkotutkimus voisi laajentua vertailemaan Suomen konttisatamia muiden Itämeren alueen pienten konttisatamien kanssa, erityisesti automaatioteknologian implementoinnin ja siihen liittyvien haasteiden osalta. Empiiristä haastattelututkimusta voitaisiin tehdä muille Itämeren alueen konttisatamissa operoiville satamaoperaattoreille ja viranomaisille, kuitenkin mahdollisesti myös muut konttisataman sidosryhmät huomioon ottaen. Tutkimuksen empiiristä näkökulmaa saataisiin laajennettua siis kansainvälisiin esimerkkeihin laajentamalla tutkimus koko Itämeren alueen pienempiin konttisatamiin, joka taas voisi mahdollistaa kattavamman kuvan automaatioteknologioiden nykytilasta ja tulevaisuudesta sekä haasteista ja mahdollisuuksista Itämeren alueen konttisatamissa. Sen lisäksi, että jatkotutkimukset voisivat keskittyä vertailemaan Suomen konttisatamia muihin Itämeren alueen konttisatamiin, voitaisiin jatkotutkimuksissa arvioida kattavammin, missä määrin tutkimustulokset ovat yleistettävissä. Tämän tutkimuksen tuloksia voidaan kuitenkin jo nyt jokseenkin yleistää muihin ominaisuuksiltaan ja olosuhteiltaan samankaltaisiin Itämeren alueen pieniin konttisatamiin, joille on ominaista etenkin alhaiset konttivolyymit ja sääolosuhteiden tuomat haasteet. Kokonaisvaltaisempi ja kattavampi ymmärrys tutkimustulosten yleistettävyydestä vaatisi kuitenkin niin ikään muiden Itämeren alueen pienten konttisatamien laadullista tutkimusta.

Edellä esiteltyjen laadulliseen tutkimukseen tähtäävien jatkotutkimusehdotusten lisäksi jatkotutkimuksissa voitaisiin hyödyntää kvantitatiivisia eli määrällisiä tutkimusmenetelmiä. Määrällisiä menetelmiä voitaisiin käyttää arvioimaan automaatioinvestointien taloudellista kannattavuutta kustannus-hyötyanalyysin kautta. Analysoimalla esimerkiksi automaatioinvestointien takaisinmaksuaikaa ja tuottopotentiaalia voidaan saada tarkempia tietoja automaatioinvestointien taloudellisista vaikutuksista. Tilastollisten menetelmien, kuten regressio- ja korrelaatioanalyysin tai simulaatiomallien avulla voitaisiin analysoida,

miten esimerkiksi konttivolyymit ja kustannustekijät vaikuttavat automaatioimplemtointien onnistumiseen. Kvantitatiivisia tutkimusmenetelmiä hyödyntävä jatkotutkimus voisi niin ikään pyrkiä selvittämään, kuinka suurilla konttivolyymeillä tiettyihin automaatioteknologioihin, kuten automatisoituihin lukkeihin tai ARTG:hen, investoiminen olisi taloudellisesti kannattavaa tietyn satamaoperaattorin näkökulmasta. Lisäksi voitaisiin selvittää, mikä olisi investoinnin tuotto sekä takaisinmaksuaika.

Lähteet

- Almutairi, A – Collier, Z. A. – Hendrickson, D – Palma-Oliveira, J. M. – Polmateer, T. L. – Lambert, J. H. (2019) Stakeholder mapping and disruption scenarios with application to resilience of a container port. *Reliability Engineering & System Safety*, Vol. 182, 219–232.
- Beaumont, Peter (2018) Cybersecurity Risks and Automated Maritime Container Terminals in the Age of 4IR. *Handbook of Research in Information and Cyber Security in the Fourth Industrial Revolution*, 497–516.
- Behdani, Behzad (2023) Port 4.0: a conceptual model for smart port digitalization. *Transportation Research Procedia*, Vol. 74, 346–353.
- Benayoune, Abdelghani (2023) Port 4.0: Integrating Advanced Technologies to Transform Port Operations. *6th European International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*.
- Bracke, V – Sebrechts, M – Moons, B – Hoebeke, J – De Truck, F – Volckaert, B (2021) Design and evaluation of a scalable Internet of Things backed for smart ports. *Journal of Software: Practice and Experience*, Vol. 51 (7), 1557–1579.
- Brooks, M. R. – Sanchez, R. J. – Wilsmeier, G (2014) Developing Short Sea Shipping in South America: Looking beyond Traditional Perspectives. *Ocean Yearbook*, Vol. 28, 495–525.
- Chargui, K – Zouadi, T – El Fallahi, A – Reghioui, M – Aouam, T (2021) Berth and quay crane allocation and scheduling with worker performance variability and yard truck deployment in container terminals. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, Vol. 154, 102449.
- Carlo, H. J. – Vis, I. F. A. – Roodbergen, K. J. (2015) Seaside operations in container terminals: literature overview, trends, and research directions. *Flexible Services and Manufacturing Journal*, Vol. 27 (2), 224–262.
- Chao, S-L – Lin, Y-L (2017) Gate automation system evaluation. *Maritime Business Review*, Vol. 2 (1), 21–35.
- Choo Yut Shing (2022) *PSA Tanjung Pagar Terminal* [Valokuva]. Flickr.
 <<https://www.flickr.com/photos/25802865@N08/51876650754>>, haettu 23.2.2025. CC BY-NC-SA 2.0, <<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.0/>>.

- Chu, F – Gailus, S – Liu, L – Ni, L (2018) The future of automated ports. McKinsley&Company.
<<https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Industries/Travel%20Transport%20and%20Logistics/Our%20Insights/The%20future%20of%20automated%20ports/The-future-of-automated-ports-final.pdf>>, haettu 2.5.2024.
- Chung, Sai-Ho (2021) Applications of smart technologies in logistics and transport: A review. *Transportation Research Part E*, Vol. 153, 102455.
- Collins Dictionary (2025) Definition of “challenge”.
<<https://www.collinsdictionary.com/dictionary/english/challenge>>, haettu 23.2.2025.
- Crainic, T. G. – Kim, K. H. (2007) Intermodal transportation. *Handbooks in Operations Research and Management Science*, Vol. 14, 467–537.
- de la Peña Zarzuelo, Ignacio (2021) Cybersecurity in ports and maritime industry: Reasons for raising awareness on this issue. *Transport Policy*, Vol. 100, 1–4.
- de la Peña Zarzuelo, I – Freire Soeane, M. J. – López Bermúdez, B (2020) Industry 4.0 in the port and maritime industry: A literature review. *Journal of Industrial Information Integration*, Vol. 20, 100173.
- Donovan, Arthur (2004) The Impact of Containerization: From Adam Smith to the 21st Century. *Review of Business*, Vol. 25 (3), 10–15.
- Ducruet, César (2020) The geography of maritime networks: A critical review. *Journal of Transport Review*, Vol. 88 (7), 102824.
- Eriksson, P – Kovalainen, A (2008) *Qualitative Methods in Business Research*. Sage, London.
- Eskola, J & Suoranta, J (1998) *Johdatus laadulliseen tutkimukseen*. Vastapaino, Tampere, Suomi.
- Fratila, A – Gavril, I. A. – Nita, S. C. – Hrebenciuc, A (2021) The Importance of Maritime Transport of Economic Growth in the European Union: A Panel Data Analysis. *Sustainability*, Vol. 13 (14), 1–23.
- Ghauri, P – Grønhaug, K – Strange, R (2020) *Research Methods in Business Studies*. (Fifth edition). Cambridge University Press. New York, United States.
- Gouveral, E – Slack, B – Franc, P (2010) Short sea and deep sea shipping markets in France. *Journal of Transport Geography*, Vol. 18 (1), 97–103.
- Gupta, A. K. – Arora, S. K. – Westcott, J. R. (2017) *Industrial automation and robotics*. Mercury Learning and Information, Duller, Virginia, United States.

- Heikkilä, M – Saarni, J – Saurama, A (2022) Innovation in Smart Ports: Future Directions of Digitalization in Container Ports. *Journal of Marine Science and Engineering*, Vol. 10 (12), 1925.
- Heiling, L – Voß, S (2017) Information systems in seaports: a categorization and overview. *Information Technology and Management*. Vol. 18, 179–201.
- Hervás-Peralta, M – Poveda-Reyes, S – Molero, G. D. – Santarremigia, F. E. – Pasto-Ferrando, J-P (2019) Improving the Performance of Dry and Maritime Ports by Increasing Knowledge about the Most Relevant Functionalities of the Terminal Operating System (TOS). *Sustainability*, Vol. 11 (6), 1648.
- Hirsjärvi, A & Hurme, H (2022) *Tutkimushaastattelu: teemahaastattelun teoria ja käytäntö* (2. painos). Gaudeamus, Helsinki, Suomi.
- Horn, Karle (2016) *Konecranes Kran* [Valokuva]. Wikimedia Commons. <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Konecranes_Kran.JPG>, haettu 23.2.2025. CC BY 3.0, <<https://creativecommons.org/licenses/by/3.0/deed.en>>.
- Inkinen, T – Helminen, R – Saarikoski, J (2021) Technological trajectories and scenarios in seaport digitalization. *Research in Transportation Business & Management*, Vol. 41, 100633.
- ITF (2021) Container Port Automation: Impacts and Implications. *International Transport Forum Policy Papers*, Vol. 96, OECD Publishing, Paris.
- Jobran, Y – Kara, G (2022) Examining the Efficiency of Automation in Container Terminals. *Journal of Transportation and Logistics*, Vol. 7 (1), 137–155.
- Jordan, M. I. – Mitchell, T. M. (2015) Machine learning: trends, perspectives, and prospects. *Science*, Vol. 349 (6245), 255–260.
- Jun, W. K. – Lee, M-K – Choi, J. Y. (2018) Impact of smart port industry on the Korean national economy using input-output analysis. *Transportation Research Part A*, Vol. 118, 480–493.
- Kaplan, A & Haenlein, M (2019) Siri, Siri, in my hand: Who’s the fairest in the land? on the interpretations, illustrations, and implications of Artificial Intelligence. *Business Horizons*, Vol. 62 (1), 15–25.
- Kasanen, E – Lukka, K – Siitonen, A (1993) The Constructive Approach in Management Accounting Research. *Journal of Management Accounting Research*, Vol. 5, 243–264.

- Knatz, G – Notteboom, T – Pallis, A. A. (2022) Container terminal automation: revealing distinctive terminal characteristics and operating parameters. *Maritime Economics & Logistics*, Vol. 24, 537–565.
- Knatz, G – Notteboom, T – Pallis, A. A. (2023) Container terminal automation: assessment of drivers and benefits. *Maritime Policy & Management*, 1–25.
- Kon, W. K. – Rahman, N. S. F. A. – Hanafiah, R. M. – Hamid, S. A. (2020) The global trends of automated container terminal: a systematic literature review. *Maritime Business Review*, Vol. 6 (3), 206–233.
- Laghari, A. A. – Wu, K – Laghari, R. A. – Ali, M – Khan, A. A. (2021) A Review and State of Art of Internet of Things (IoT). *Archives of Computational Methods in Engineering*, Vol. 29, 1395–1413.
- Li, K. X. – Li, M – Zhu, Y – Yuen, K. F. – Tong, H – Zhou, H (2023) Smart port: A bibliometric review and future research directions. *Transportation Research Part E*, Vol. 174, 103098.
- Li, Y – Li, S – Zhang, Q – Xiao, B – Sun, Y (2022) Application of Big Data Technology in Ship-to-Shore Quay Cranes at Smart Port. *Infrastructures*, Vol. 7 (5), 73.
- Li, S – Xu, L. D. – Zhao, S (2015) The internet of things: a survey. *Information Systems Frontier*, Vol. 17, 243–259.
- Lincoln, Y. S. & Guba, E. G. (1985) *Naturalistic inquiry*. Sage, Newbury Park, California, United States.
- Lukka, Kari (2001) Konstruktiivinen tutkimusote. <<https://metodix.fi/2014/05/19/lukka-konstruktiivinen-tutkimusote/>>, haettu 22.4.2024.
- Luo, M – Fan, L – Liu, L (2009) An econometric analysis for container shipping market. *Maritime Policy & Management*, Vol. 36 (6), 507–523.
- Manning, Patrick (2013) Global History and Maritime History. *International Journal of Maritime History*, Vol. 1 (1), 1–22.
- Martín-Soberón, A. N. – Monfort, A – Sapiña, R – Monterde, N – Calduch, D (2014) Automation in port container terminal. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, Vol. 160, 195–204.
- Minderhoud, Michiel (2006) *Portainer (gantry crane)* [Valokuva]. Wikimedia Commons.
<[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Portainer_\(gantry_crane\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Portainer_(gantry_crane).jpg)>.

- haettu 22.2.2025. CC BY-SA 3.0, <<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/deed.en>>.
- Molavi, A – Lim, G. J. – Race, B (2020) A framework for building a smart port and smart port index. *International Journal of Sustainable Transportation*, Vol. 14 (9), 686–700.
- National Renewable Energy Lab (2017) *LBTC Port of Long Beach* [Valokuva]. Flickr. <<https://www.flickr.com/photos/nrel/36386868411>>, haettu 23.2.2025. CC BY-NC-ND 2.0, <<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.0/>>.
- Neilimo, K & Näsi, J (1980) *Nomoteettinen tutkimusote ja suomalainen yrityksen taloustiede: Tutkimus positivismin soveltamisesta*. Tampereen yliopiston julkaisuja. Sarja A 2:12. Tampere, Suomi.
- Notteboom, T. – Pallis, A. – Rodrigue, J-P (2022) *Port Economics, Management and Policy*. Routledge, New York, NY, United States.
- OECD (2024) Ocean shipping and shipbuilding. <<https://www.oecd.org/ocean/topics/ocean-shipping/>>, haettu 24.2.2024.
- Ojala, L – Paimander, A – Kairinen, I (2021) Konttikuljetusten ajankohtais selvitys. Huoltovarmuuskeskus. <<https://www.huoltovarmuuskeskus.fi/files/d86062592ae7b4ebc8d408c6c7b8572c87848517/kontti-raportti.pdf>>, haettu 6.4.2024.
- Ojala, L – Jokinen, J – Hellström, R (2025) Suomen satamien lastinkäsittelykapasiteetti. Turun kauppakorkeakoulun julkaisuja. Sarja E-3:2025. <https://www.utupub.fi/bitstream/handle/10024/180030/Suomen%20satamien%20lastink%C3%A4sittelykapasiteetti_TuKKK_E-Sarja_13.2.2025.pdf?sequence=1&isAllowed=y>, haettu 22.2.2025.
- Only Truth (2006) *Kuantan Port Container Yard with RTG & Reach Stacker* [Valokuva]. Wikimedia Commons. <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Kuantan_Port_Container_Yard_with_RTG_%26_Reach_Stacker.JPG>, haettu 23.2.2025. CC BY-SA 3.0, <<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/deed.en>>.
- Paixão Casaca, A. C. – Marlow, P. B. (2009) Logistics strategies for short sea shipping operating as part of multimodal transport chains. *Maritime Policy & Management*, Vol. 36 (1), 1–19.
- Paraskevas, A – Madas, M – Zeimpekis, V – Fouskas, K (2024) Smart Ports in Industry 4.0: A Systematic Literature Review. *Logistics*, Vol. 8 (1), 28.

- Pham, Thi Yen (2023) A smart port development: Systematic literature and bibliometric analysis. *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, Vol. 39, 57–62.
- Port of Helsinki (2025) Hinnasto 2025. <<https://www.portofhelsinki.fi/wp-content/uploads/2025/01/Helsingin-Satama-hinnasto-2025.pdf>>, 22.2.2025.
- Port Technology (2018) Friday Focus: DP World's Automated Container Stacking. <https://www.porttechnology.org/news/friday_focus_dp_worlds_automated_container_stacking/>, haettu 25.3.2024.
- Port Technology (2019) What is the difference between port and terminal? <<https://www.porttechnology.org/news/what-is-the-difference-between-port-and-terminal/>>, haettu 22.2.2024.
- Port Technology (2023) Liebherr to supply three automated STS cranes to HHLA. <<https://www.porttechnology.org/news/liebherr-to-supply-three-automated-sts-cranes-to-hhla/>>, 25.3.2023.
- Pournader, M – Ghaderi, H – Hassanzadegan, A – Fahimnia, B (2021) Artificial intelligence applications in supply chain management. *International Journal of Production Economics*, Vol. 241, 108250.
- Reeyad, Moheen (2015) *Straddle carrier from Port of Chittagong* [Valokuva]. Wikimedia Commons. <[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Straddle_carrier_from_Port_of_Chittagong_\(01\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Straddle_carrier_from_Port_of_Chittagong_(01).jpg)>, haettu 22.2.2025. CC BY-SA 4.0, <<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.en>>.
- Reischauer, Georg (2018) Industry 4.0 as policy-driven discourse to institutionalize innovation systems in manufacturing. *Technological Forecasting Social Change*, Vol. 132, 26–33.
- Rodrique, J-P – Comtois, C – Slack, B (2013) *The Geography of Transport Systems*. Routledge. New York, NY, United States.
- Rodrique, J-P – Notteboom, T (2009) The geography of containerization: half a century of revolution, adaption and diffusion. *GeoJournal*, Vol. 74 (1), 1–5.
- Rodrique, J-P – Notteboom, T (2021) Automation in Container Port Systems and Management. *TR News*, Vol. 334, 20–26.
- Saaranen-Kauppinen, A – Puusniekka, A (2006) KvaliMOTV – Menetelmäopetuksen tietovaranto. Tampere: Yhteiskuntatieteellinen tietoarkisto. <<https://www.fsd.tuni.fi/menetelmaopetus/>>, haettu 19.4.2024.

- Sanchez-Gonzalez, P-D – Díaz-Gutiérrez, D – Leo, T. J. – Núñez-Rivas, L. R (2019) Toward Digitalization of Maritime Transport? *Sensors*, Vol. 19 (4), 926.
- Sarajärvi, A & Tuomi, J (2018) *Laadullinen tutkimus ja sisällönanalyysi*. Kustannusosakeyhtiö Tammi, Helsinki, Suomi.
- Shi, X – Tao, D – Voß, S (2011) RFID Technology and its Application to Port-based Container Logistics. *Journal of Organizational Computing and Electronic Commerce*, Vol. 21, 332–347.
- Steenken, D – Voß, S – Stahlbock, R (2004) Container terminal operations research – a classification and literature review. *OR Spectrum*, Vol. 26 (1), 3–49.
- Stopford, Martin (2009) *Maritime Economics*. Routledge. New York, NY, United States.
- Superbass (2016) *Terminal tractor am Fährterminal Rotterdam* [Valokuva]. Wikimedia Commons. <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:2016-07-29-Terminal_tractor-6213.jpg>, haettu 23.2.2025. CC BY-SA 4.0, <<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed>>.
- Talley, Wayne K. (2009) *Port Economics*. Routledge. New York, NY, United States.
- The Britannica Dictionary (2025) Challenge. <<https://www.britannica.com/dictionary/challenge>>, haettu 23.2.2025.
- The Maritime Executive (2018) PSA Singapore Showcases Future Port Technologies. <<https://www.maritime-executive.com/article/psa-singapore-showcases-future-port-technologies>>, haettu 25.3.2024.
- Tilastokeskus (2024) Ulkomaan meriliikenne: Konttien merikuljetukset satamittain. https://statfin.stat.fi/PxWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin__uvliik/statfin_uvliik_pxt_12iz.px/table/tableViewLayout1/, haettu 25.2.2024.
- Triska, Y – Frazzon, E. M. – Silva, V. M. D. – Heiling, L (2024) Smart port terminals: conceptual framework, maturity modeling and research agenda. *Maritime Policy & Management*, Vol. 51 (2), 259–282.
- UNCTAD (2021) Review of Maritime Transport 2021. United Nations publication, Geneva.
- UNCTAD (2023) Review of Maritime Transport 2023. Towards a Green and Just Transition. United Nations publication, Geneva.
- Van Beem, Alf (2012) *Skystacker Empty Container Handler at Port of Antwerp* [Valokuva]. Wikimedia Commons. <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Skystacker_reach_stack.jpg>.

haettu 23.2.2025. CC0 1.0,

<<https://creativecommons.org/publicdomain/zero/1.0/deed.en>>.

Van Beem, Alf (2015) *Automated guided vehicle container mover at Port of Rotterdam* [Valokuva]. Wikimedia Commons.

<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Automated_guided_vehicle_container_mover_at_Port_of_Rotterdam.JPG>, haettu 22.2.2025. CC0 1.0,

<<https://creativecommons.org/publicdomain/zero/1.0/deed.en>>.

Verhoeven, Patrick (2010) A review of port authority functions: towards a renaissance? *Maritime Police & Management*, Vol. 37 (3), 247–270.

Vis, I. F. A. – de Koster, R. (2003) Transshipment of containers at a container terminal: An overview. *European Journal of Operational Research*, Vol. 147 (1–16).

Wilsmeier, G – Monios, J (2020) *Geographies of Maritime Transport*. Edward Elgar Publishing. Cheltenham, UK; Northampton, MA, USA.

World Shipping Council (2024a) The Top 50 Container Ports.

<<https://www.worldshipping.org/top-50-ports>>, haettu 22.2.2024.

World Shipping Council (2024b) Our Work. <<https://www.worldshipping.org/our-work>>, haettu 22.2.2025.

Xu, J – Testa, D – Mukherjee, P. K. (2015) The Use of LNG as a Marine Fuel: The International Regulatory Framework. *Ocean Development & International Law*, Vol. 46 (3), 225–240.

Yang, Y – Zhong, M – Yao, H – Yu, F – Postolache, O (2018) Internet of things for smart port: Technologies and challenges. *IEEE Instrumentation & Measurement Magazine*, Vol. 21 (1), 34–43.

Yau, K-L. A. – Peng, S – Qadir, J – Low, Y-C – Ling, A. M. H. (2020) Towards Smart Port Infrastructures: Enhancing Port Activities Using Information and Communications Technology. *IEEE Access*, Vol. 8, 83387–83404.

Yin, Robert K. (2014) *Case study research: design and methods* (5th edition). Sage, Los Angeles, United States.

Yu, H – Deng, Y – Zhang, L – Xiao, X – Tan, C (2022) yard Operations and Management in Automated Container Terminals: A Review. *Sustainability*, Vol. 14 (6), 3419.

Liitteet

Liite 1. Laiturinosturi eli STS-nosturi (Minderhoud 2006)



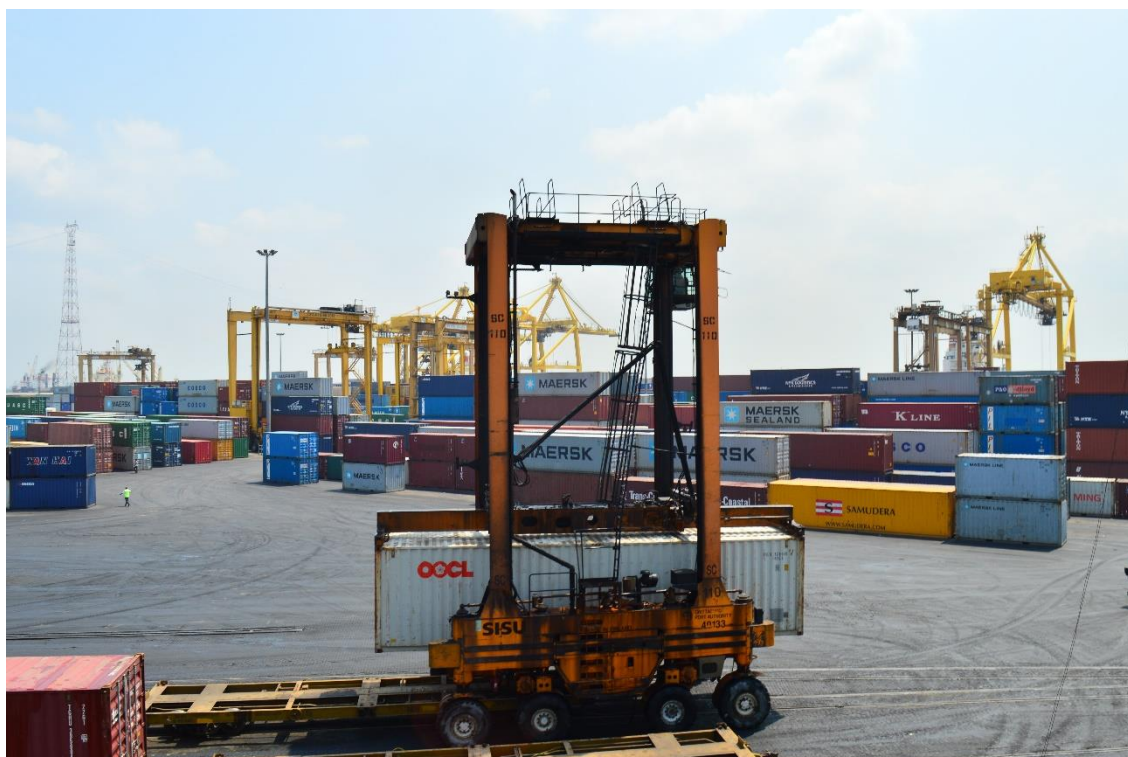
Liite 2. AGV-ajoneuvo (van Beem 2015)



Liite 3. Terminaalitraktori (Superbass 2016)



Liite 4. Lukkitrukki (Reeyad 2015)



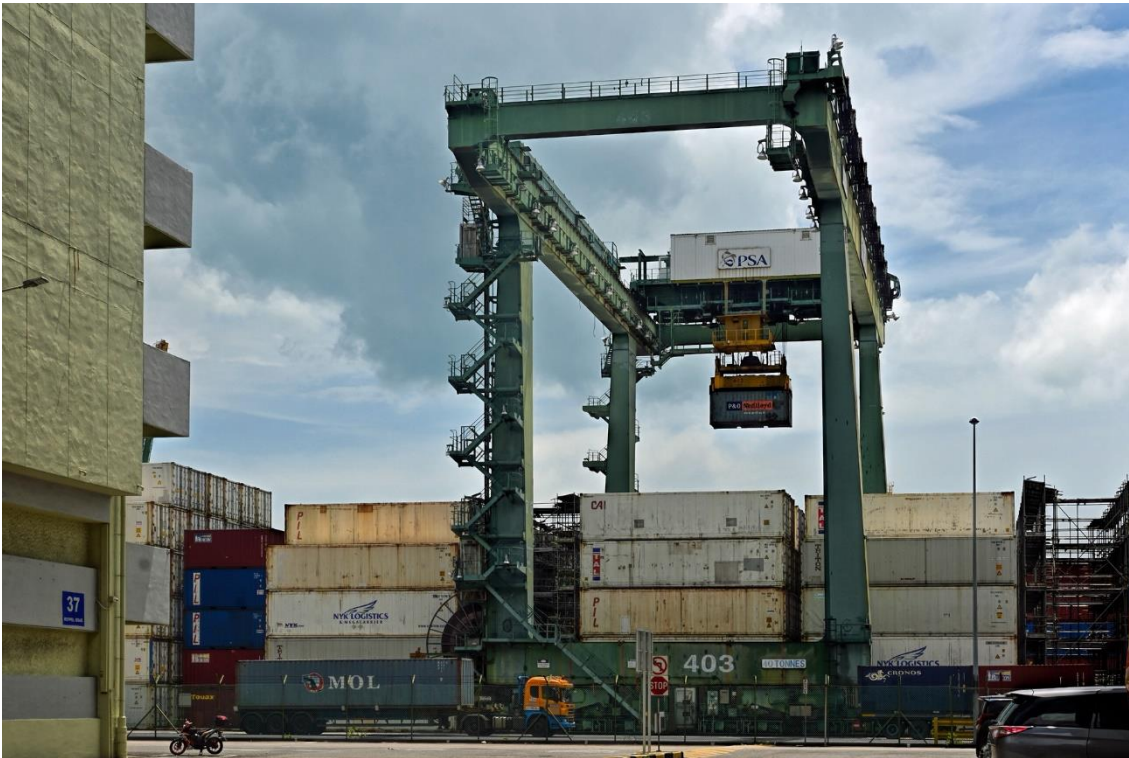
Liite 5. Yläkuormaaja (van Beem 2012)



Liite 6. Konttikurottaja (Only Truth 2006)



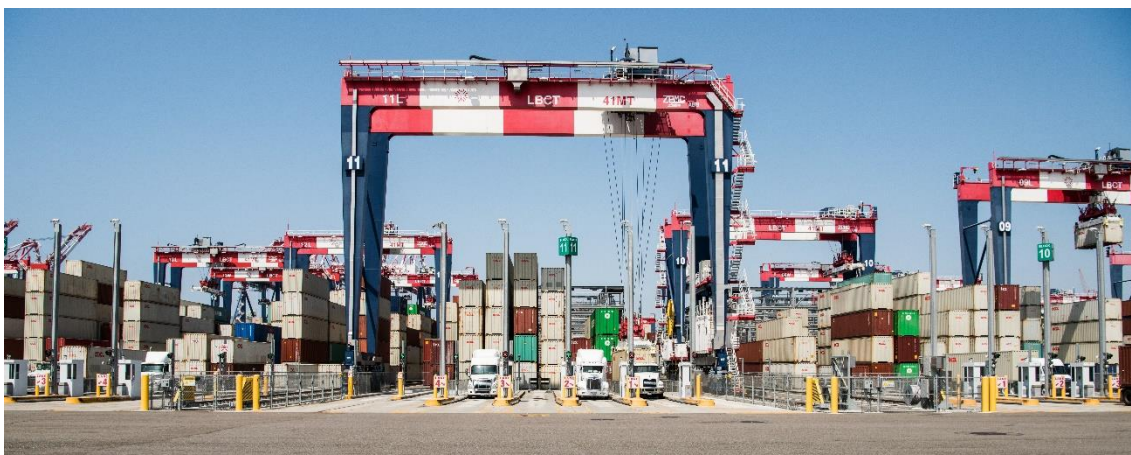
Liite 7. RMG (Choo Yut Shing 2022)



Liite 8. RTG (Horn 2016)



Liite 9. ASC (National Renewable Energy Lab 2017)



Liite 10. Haastattelurunko satamayhtiö

Alkukysymys:

1. Kertoisitteko lyhyesti omasta taustastanne, työtehtävistänne sekä toimintanne pääkohdista?

Automaation nykytila ja ajurit:

2. Kuinka pitkälle Suomen konttisatamat ovat tällä hetkellä automatisoituja, erityisesti lastinkäsittelyn sekä porttitoimintojen osalta? Millaisia hyötyjä konttiterminalitoimintojen automatisointi yleisellä tasolla tuo?
3. Mitä konkreettisia automaatioratkaisuja konttisatamassanne hyödynnetään tällä hetkellä? Mitkä konttiterminalienne toiminnoista on tällä hetkellä automatisoitu?
4. Mitkä tekijät ovat ajaneet automaation käyttöönottoa satamassanne? Ts. mitkä tekijät ovat toimineet automaatioinvestointien ns. ajureina?
5. Miten tällä hetkellä konttisatamassanne automatisoidut toiminnot/prosessit ovat vaikuttaneet konttisataman:
 - a. tehokkuuteen ja tuottavuuteen?
 - b. kustannuksiin?
 - c. ympäristöystävällisyyteen?
 - d. turvallisuuteen?

Ts. mitä konkreettisia hyötyjä tähänastinen automaatio on tuonut konttisatamanne toimintaan?

Tulevaisuuden automaatioinvestoinnit:

6. Minkälaisia automaatiohankkeita/-investointeja Suomen konttisarjissa on yleisellä tasolla suunnitteilla tulevaisuudessa? Mitä toimintoja konttisarjissa pyritään automatisoimaan seuraavaksi?
7. Millaisia automaatiohankkeita/-investointeja teidän konttisarjassanne on käynnissä tai suunnitteilla tulevaisuudessa? Mitkä satamatoiminnot tulevat olemaan investointien kohteena?
8. Mikä on suunniteltujen automaatiohankkeiden/-investointien aikataulu? Miten automaatiohankkeiden etenemistä seurataan?

Automaatioinvestointien vaikutukset/hyödyt:

9. Millaisia ovat suunniteltujen automaatiohankkeiden/-investointien tuomat hyödyt/odotetut vaikutukset konttisarjan:
 - a. tehokkuuteen ja tuottavuuteen?
 - b. kustannuksiin?
 - c. ympäristöystävällisyyteen?
 - d. turvallisuuteen?
10. Millaisia muita näkökulmia tai mahdollisuuksia näette automaation laajentamisessa konttisarjan toiminnan kehittämiseksi?

Automaatioinvestointien haasteet/esteet:

11. Millaisia haasteita olette kohdanneet konttisarjan nykyisen automaation toteutuksessa, jotka ovat hidastaneet automaatioteknologian käyttöönottoa? Oletteko kohdanneet yllätyksiä tai ongelmia, joita ette osanneet etukäteen ennakoita?
12. Mitkä ovat olleet suurimmat esteet tai haasteet uusien automaatiohankkeiden/-investointien toteuttamiselle? Ts. miksi automaatioon ei välttämättä investoida, vaikka sen tuomat hyödyt olisivat selkeitä?

Sidosryhmäyhteistyö:

13. Miten automaatiota kehitetään yhteistyössä konttisarjan muiden sidosryhmien, kuten satamaoperaattoreiden ja konttivarustamoiden kanssa? Onko yhteistyössä ollut haasteita automaatioteknologian käyttöönotossa?
14. Miten satamayhtiö voi tukea automaation laajentamista ja sujuvaa käyttöönottoa konttisarjassa?

Loppukysymys:

15. Mitkä näkisit tärkeimpinä kehityskohteina konttisatamassanne automaation ja uusien teknologioiden osalta seuraavan 5–10 vuoden aikana?
16. Onko vielä jotain muuta, mitä haluaisitte lisätä automaatiosta tai sen vaikutuksista konttisataman toimintaan?

Liite 11. Haastattelurunko satamaoperaattori**Alkukysymys:**

1. Kertoisitteko lyhyesti omasta taustastanne sekä roolistanne konttiterminaalien päivittäisessä operoinnissa?

Automaation nykytila ja ajurit:

2. Miten konttiterminaalitoimintonne on tällä hetkellä automatisoitu eli miten automaatio näkyy konkreettisesti päivittäisessä toiminnassanne? Kuinka pitkälle nykyiset lastinkäsittely- ja porttitoiminnot on automatisoitu?
 3. Missä terminaalitoiminnoissa automaation hyödyntäminen on osoittautunut kaikkein merkityksellisimmäksi? Miksi? Missä toiminnoissa taas automaation hyödyt ovat jääneet odotettua vähäisemmiksi?
 4. Mitkä tekijät ovat ajaneet automaation käyttöönottoa konttiterminaalissanne eli toimineet automaatioinvestointien ns. ajureina?
 5. Tekoäly ja IoT (Internet of Things) toimivat tärkeinä automaation mahdollistajina. Miten ne ovat vaikuttaneet automaatiotratkaisuihin konttiterminaalissanne?
 6. Miten tällä hetkellä konttiterminaalissanne automatisoidut toiminnot/prosessit ovat vaikuttaneet terminaalien:
 - a. tehokkuuteen ja tuottavuuteen?
 - b. kustannuksiin?
 - c. ympäristöystävällisyyteen?
 - d. turvallisuuteen?
- Ts. mitä konkreettisia hyötyjä tähänastinen automaatio on tuonut konttiterminaalinne toimintaan?

Tulevaisuuden automaatioinvestoinnit:

7. Millaisia automaatiohankkeita/-investointeja konttiterminaalissanne on käynnissä tai suunnitteilla tulevaisuudessa? Mitkä terminaalitoiminnot tulevat olemaan investointien kohteena?
8. Mikä on suunniteltujen automaatiohankkeiden/-investointien aikataulu? Miten automaatiohankkeiden etenemistä seurataan?

Automaatioinvestointien odotetut hyödyt/vaikutukset:

9. Millaisia ovat suunniteltujen automaatiohankkeiden/-investointien tuomat hyödyt/odotetut vaikutukset konttiterminaalin:
 - a. tehokkuuteen ja tuottavuuteen?
 - b. kustannuksiin?
 - c. ympäristöystävällisyyteen?
 - d. turvallisuuteen?
10. Millaisia muita hyötyjä/mahdollisuuksia automaatiohankkeiden/-investointien avulla voidaan konttiterminaalissa saavuttaa kuin em. neljästä näkökulmasta tarkasteltuna?

Automaatioinvestointien haasteet/esteet:

11. Millaisia haasteita olette kohdanneet konttiterminaalin nykyisen automaation toteutuksessa, jotka ovat hidastaneet automaatioteknologioiden käyttöönottoa? Oletteko kohdanneet yllätyksiä tai ongelmia, joita ette osanneet etukäteen ennakoita?
12. Mitkä ovat olleet suurimmat esteet tai haasteet uusien automaatiohankkeiden/-investointien toteuttamiselle? Ts. miksi automaatioon ei ole välttämättä investoitu, vaikka sen mukanaan tuomat hyödyt olisivat selkeitä?
13. Miten automaatiota kehitetään yhteistyössä muiden sidosryhmien, kuten satamayhtiön kanssa? Onko yhteistyössä ollut haasteita?

Loppukysymykset:

14. Mitkä näkisit tärkeimpinä kehityskohteina konttiterminaalissanne automaation ja uusien teknologioiden osalta seuraavan 5–10 vuoden aikana? Miten nämä vaikuttavat terminaalin toimintaan?
15. Onko vielä jotain muuta, mitä haluaisitte lisätä automaatiosta tai sen vaikutuksista konttiterminaalin toimintaan?