



Vaasan yliopisto
UNIVERSITY OF VAASA

Santeri Kuurila

Älykäs mobiilirobotti tuotannon logistiikkaprosessien tukena

Tekniikan ja innovaatiojohtamisen yksikkö
Informaatiotekniikan koulutusohjelma,
Diplomityö
Ohjelmistotekniikka

Vaasa 2020

Alkulause

Kiitos kaikille tutkimukseen osallistuneille yrityksille, kohdeyrityksen henkilöille sekä erityisesti työni ohjaajalle, Diplomi-insinööri Mikko Jukkaselle saamastani avusta, tuesta ja asiantuntemuksesta työn edistämiseen.

Kiitos myös työni valvojalle, Kauppatieteiden tohtori Teemu Mäenpäälle erinomaisesta neuvonnasta ja työni valvomisesta koko tutkimuksen ajan.

Viimeisenä haluan kiittää perhettäni ja läheisiäni heiltä saamastani tuesta ja hyvistä neuvoista tutkimuksen alusta aina loppumetreille saakka.

Vaasassa 3.4.2020

Santeri Kuurila

VAASAN YLIOPISTO**Tekniikan ja innovaatiojohtamisen yksikkö**

Tekijä:	Santeri Kuurila	
Tutkielman nimi:	Älykäs mobiilirobotti tuotannon logistiikkaprosessien tukena	
Tutkinto:	Diplomi-insinööri	
Oppiaine:	Informaatiotekniikan koulutusohjelma	
Työn valvoja:	KTT Teemu Mäenpää	
Työn ohjaaja:	DI Mikko Jukkanen	
Valmistumisvuosi:	2020	Sivumäärä: 119

TIIVISTELMÄ:

Diplomityössä selvitetään mobiilirobottien toimintaa, roolia sekä soveltuvuutta kohdeyrityksen tuotantoympäristössä. Lisäksi tutkitaan mobiilirobottien käyttöönoton vaikutusta logistiikkaprosesseihin sekä materiaalivirtoihin. Näiden toimintojen tehostaminen ja tuottavuuden lisääminen voidaan mahdollistaa integroimalla mobiilirobotteja logistiikka- sekä tuotantoympäristöön. Tutkimuksen tarkoituksena on kartoittaa, suunnitella ja toteuttaa aiempia tutkimuksia hyödyntäen mobiilirobottien soveltuvuus selvitys kohdeyrityksen tuotantoympäristössä tietyn ajanjakson ajan. Tutkimuksen tavoitteena on sovittaa suunniteltu toteutus soveltuvin osin nykyisten logistiikkaratkaisujen tueksi. Lisäksi toteutetaan evaluointi simulointia hyödyntäen. Näiden pohjalta saadaan tarvittavat tiedot sekä muutosehdotukset varsinaista käyttöönottoa varten.

Perehtymällä aiempiin tutkimuksiin, kirjallisuuteen ja töihin aiheesta luodaan teoriaosuudet, joissa käsitellään mobiilirobottien toimintaa, roolia logistiikassa sekä sovelluskohteita logistiikka- ja tuotantoympäristössä. Ennen toteutusvaihetta kartoitetaan potentiaaliset mobiilirobotit sekä niiden ominaisuudet, jonka jälkeen valitaan arviointiperusteiden pohjalta laitteista sopivin. Tämän lisäksi kartoitetaan tuotannon logistiikkaprosessit, tietoliikenneinfrastruktuuri ja materiaalivirrat. Kartoituksen perusteella suunnitellaan sekä fyysinen soveltuvuus selvitys että simulaatioita potentiaalisissa käyttökohteissa. Soveltuvuus selvitys toteutetaan valitulla mobiilirobotilla suunnitelman mukaisesti, soveltaen sitä nykyiseen tuotantoympäristöön ja logistiikkaprosesseihin. Lopuksi analysoidaan toteutuksen perusteella saatuja tuloksia.

Tutkimuksessa perehdyttiin viiden eri valmistajan mobiiliroboteihin. Osalle arvioitavista laitteista toteutettiin kokeilujakso kohdeyrityksen testiympäristössä, jonka avulla saatiin arvokasta lisätietoa erityyppisten mobiilirobottien toiminnasta ja soveltuvuudesta kohdeympäristöön. Valmistajien välisessä vertailussa arvioitiin useita käyttöönottoon vaikuttavia tekijöitä, joista tärkeimpänä soveltuvuutta potentiaaliseen käyttökohteeseen. Sopivimman mobiilirobotin valinta tuotantoympäristöön toteutettiin kartoittamalla ja arvioimalla saatavilla olevia malleja ja niiden vaatimuksia, määrittelyjä sekä ominaisuuksia. Suunniteltu soveltuvuus selvitys toteutettiin onnistuneesti nykyisessä tuotantoympäristössä ja tutkimuksen tavoitteisiin löydettiin ratkaisuja. Evaluointi suoritettiin onnistuneesti ja saatujen tietojen perusteella laadittiin muutosehdotukset sekä kehotukset mobiilirobottien käyttöönottoa varten.

UNIVERSITY OF VAASA**School of Technology and Innovations**

Author:	Santeri Kuurila	
Topic of the Thesis:	Intelligent Mobile Robots in Factory Floor Logistics Processes	
Degree:	Master of Science in Technology	
Degree Program:	Degree Program in Information Technology	
Supervisor:	D.Sc. (Econ.) Teemu Mäenpää	
Instructor:	M.Sc. (Tech.) Mikko Jukkanen	
Year of Graduation:	2020	Pages: 119

ABSTRACT:

This research investigates the features, functions and roles of Mobile Robots as well as their suitability in the production environment of the target company. The effects of Mobile Robot deployment on Logistics Processes and Material Flow are also identified. Productivity and efficiency of these functions can be improved through the integration of Mobile Robots in logistics- and production environments. The purpose of this research is to map, plan and implement a Proof of Concept in the production environment of the target company for a set period, based on prior studies on the subject. The target of this research is to fit and adapt the planned implementation to aid the existing logistics solutions. Evaluation will be done using simulation. Necessary information and suggestions are gathered for the future deployment of Mobile Robots.

Prior research, literature and works on the subject are used to create the theoretical parts that cover the functions, roles and use of Mobile Robots in logistics- and production environments. Mapping of potential Mobile Robots, their qualities and the decision for the most suitable Mobile Robot is done before the implementation-phase. The mapping of logistics processes, telecommunication infrastructure and material flow for the production is also performed. Both the physical Proof of Concept and the simulation of potential targets is designed based on the findings of the mapping. The physical Proof of Concept is carried out according to plan using the chosen Mobile Robot and applying it to existing production environment and logistics processes. The results of the practical parts are analyzed in the final results-phase.

Five different Mobile Robot manufacturers were compared in this research. Some of the robots were tested in the test production environment during brief testing periods. These testing periods gave useful insight on the performance of different types of mobile robots. The comparison between the Mobile Robot manufacturers consisted of multiple factors that impact the deployment of such robots. Most important one of these factors was the Mobile Robot's applicability to the potential target. The decision of the most suitable Mobile Robot was made by mapping and assessing the available models alongside their requirements, specifications and qualities. The planned Proof of Concept was implemented successfully in the existing production environment and solutions to the objectives were found. Evaluation was performed successfully. These solutions were reviewed, suggestions for further studies were made and guidelines for the deployment were drafted based on the results of this research.

KEYWORDS: Mobile Robotics, Logistics, Efficiency, Productivity, Automation

Sisällys

Alkulause	2
1 Johdanto	11
1.1 Työn rakenne ja tutkimuskysymykset	13
2 Mobiilirobottien toiminta	15
2.1 Perustyytit	15
2.1.1 AGV ja IGV	16
2.1.2 AIV ja AMR	17
2.2 Navigointi	18
2.3 Ohjaaminen	21
2.4 Kommunikointi	22
2.5 Rajapinnat ja käyttöliittymät	24
2.6 Turvallisuus	26
2.7 Rooli logistiikassa	27
2.8 Sovelluskohteet ja tutkimukset	30
3 Mobiilirobottien kartoitus	36
3.1 Omron laiteperhe	36
3.1.1 MobilePlanner	38
3.1.2 Fleet Manager ja FLOW Core	40
3.1.3 Kokeilujakso testiympäristössä	41
3.2 AGILOX IGV	45
3.2.1 Kokeilujakso testiympäristössä	48
3.2.2 Rajapintatestaus kokeilujakson yhteydessä	53
3.2.3 Rajapintatestaus, jatkoa (C#/REST)	56
3.3 MiR laiteperhe	57
3.3.1 ROEQ lisälaitteet	60
3.3.2 MiR Fleet	61
3.4 Robotize laiteperhe	62
3.4.1 GoPal-lisälaitteet sekä GoControl	64

3.5	Fetch Robotics laiteperhe	65
3.5.1	Fetch Core	68
3.6	Arviointiperusteet	69
4	Menetelmät	71
4.1	Tutkimuksen taustaa	72
4.2	Metodologia	72
5	Mobiilirobotti tuotannossa	75
5.1	Logistiikkaprosessien ja materiaalivirtojen kartoitus	75
5.1.1	Tietoliikenneinfrastruktuurin kartoitus	78
5.2	Potentiaaliset käyttökohteet tuotantoympäristössä	78
5.2.1	Käyttökohde 1: Lavakuormat	80
5.2.2	Käyttökohde 2: Lavakuormat sekä laatikot	81
5.2.3	Käyttökohde 3: Laatikot	81
5.2.4	Käyttökohde 4: Keräilykärryt	82
5.3	Soveltuvien käyttökohteiden ja laitevalinta	83
5.4	Riskianalyysi	84
5.5	Soveltuvuus selvitys tuotannossa	85
5.5.1	Seurantajakson suunnitelma	85
5.5.2	Seurantajakson ensimmäinen viikko	88
5.5.3	Seurantajakson toinen ja kolmas viikko	90
5.6	Mobiilirobottilaivueen simulointi	92
5.6.1	Evaluointi	93
6	Tulokset	102
6.1	Tulevaisuuden näkymät ja jatkotutkimuskohteet	104
6.2	Muutosehdotukset	106
7	Johtopäätökset	108
	Lähteet	111
	Liitteet	119
	Liite 1. Riskinarviointi ja riskitasomatriisi	119

Kuvat

Kuva 1.	Kokeilujaksoa varten luotu pohjapiirros, jota pystyttiin muokkaamaan MobilePlanner-ohjaustyökalun avulla.....	40
Kuva 2.	Omron LD-60 mobiilirobotille askarreltiin kasvot ja se jakoi karkkia kohdeyrityksen tehtaan perhepäivässä.....	42
Kuva 3.	AGILOX IGV -laitteen esittelytilaisuus Teknologia 19 -messuilla Helsingin Messukeskuksessa, Posicraft Oy:n messuosastolla.....	46
Kuva 4.	Agilox IGV:lle luotu pohjapiirros kokeilujakson alkuvaihetta varten, josta nähdään skannausdatan ääriviivat sekä lisätyt alueet (selitteet alla).....	49
Kuva 5.	MiR200-mobiilirobotti Helsingin Messukeskuksessa järjestetyssä Teknologia 19 -tapahtumassa, Posicraft Oy:n messuosastolla.....	57
Kuva 6.	Vierekkäisten taukopaikkojen tulokset laitemäärillä 15, 20 sekä 25 ja näissä eriteltyinä laivueen aktiviteetit sekä vasteaikojen keskiarvot.....	94
Kuva 7.	Mobiilirobottien simulointitilanne, jossa näkyvät nouto- ja vientipisteet, taukopaikat sekä mobiilirobottiliikenteen heatmap.....	96
Kuva 8.	Hajautettujen taukopaikkojen tulokset laitemäärillä 15, 20 sekä 25 ja näissä eriteltyinä laivueen aktiviteetit sekä vasteaikojen keskiarvot.....	97
Kuva 9.	Hajautettujen taukopaikkojen tulokset laitemäärillä 17, 18 sekä 19 ja näissä eriteltyinä laivueen aktiviteetit sekä vasteaikojen keskiarvot.....	97
Kuva 10.	Hajautettujen taukopaikkojen tulokset optimitalanteen sekä pahimman mahdollisen tilanteen kohdalla.....	98
Kuva 11.	Tulokset ilman tiimi 2 materiaalien kuljetusta optimilaitemäärän sekä laskennallisesti vähennetyn laitemäärän kohdalla.....	99
Kuva 12.	Tulokset ilman tyhjien laatikoiden kuljetusta optimilaitemäärän sekä vähennetyn laitemäärän kohdalla.....	100

Taulukot

Taulukko 1.	Tarkasteltavien tutkimusten sovelluskohteet aikajärjestyksessä.	31
Taulukko 2.	Omron-laiteperheen ominaisuudet mallikohtaisesti, jotka perustuvat Omron-mobiilirobottien (Omron Corporation, 2019d) tuoteselosteeseen.	38
Taulukko 3.	AGILOX IGV -laitteen ominaisuudet, jotka perustuvat Agiloxin (AGILOX Systems GmbH, 2019a) esittelysivuun.	48
Taulukko 4.	Työjonon tyyppin (/workflow/#) määrittelyperiaate Agilox IGV:n REST-rajapintapyynnölle. Työjonon saamat mahdolliset arvot ovat väliltä 0 – 5.....	54
Taulukko 5.	Muutama esimerkki mahdollisista POST- ja GET-metodin pyynnöistä, joita Agilox IGV:n REST-rajapintaan voi lähettää.....	55
Taulukko 6.	MiR laiteperheen ominaisuudet, jotka perustuvat MiR-mobiilirobottien (Mobile Industrial Robots, 2019a) tuoteselosteeseen.	60
Taulukko 7.	Robotize laiteperheen ominaisuudet, jotka perustuvat GoPal 400 (Robotize, 2019b) sekä GoPal E24 (Robotize, 2019c) tuoteselosteeseen.	64
Taulukko 8.	Fetch Robotics laiteperheen ominaisuudet, jotka perustuvat Fetch Roboticsin (L. Iven, & J. Volanen, henkilökohtainen tiedonanto, 9.12.2019) tuoteselosteeseen.	68
Taulukko 9.	Laiteperheiden vertailun mahdollistamiseksi luodut arviointiperusteet sekä selitteet ryhmiteltyinä.	70
Taulukko 10.	DSRM-prosessimallin vaiheet esitettynä vasemmalla sekä oikealla näille vaiheille tämän tutkimuksen vastineet niille vaiheittain.....	74
Taulukko 11.	Täydennetyt arviointiperusteet, johon on lisätty arvot väliltä 0 – 3 sekä painoarvot laiteperheittäin.	79
Taulukko 12.	Laiteperheittäin potentiaalisten käyttökohteiden soveltuvuudet, jotka on saatu taulukon 11 arvojen sekä painoarvojen perusteella.	83
Taulukko 13.	Kahdeksan tunnin aikaiset laatikkomäärät materiaalien ja valmiiden tuotteet osalta, joihin simulointien kuljetusmääriä verrataan.....	95

Lyhenteet

AGV	Automated Guided Vehicle
AIV	Autonomous Intelligent Vehicle
AMR	Autonomous Mobile Robot
API	Application Programming Interface
ARA*	Anytime Repairing A*
DSRM	Design Science Research Model
DWA	Dynamic Window Approach
EKF	Extended Kalman Filter
ERoP	Enterprise Robot Planning
ERP	Enterprise Resource Planning
ESD	Electrostatic Discharge
FLOW	Fleet Operations Workspace
IC	Intelligent Control
ICA	Intelligent Control Architectures
IGV	Intelligent Guided Vehicle
IoT	Internet of Things
I/O	Input/Output
JSON	JavaScript Object Notation
MES	Manufacturing Execution System
MiR	Mobile Industrial Robots A/S
MQ	Message Queue
MRAC	Model Reference Adaptive Control

NFS	Neuro-Fuzzy Systems
PAN	Plug and Navigate
REST	Representational State Transfer
SLAM	Simultaneous Localization and Mapping
SMC	Sliding Mode Control
SQL	Structured Query Language
STC	Self-Tuning Control
TCP/IP	Transmission Control Protocol / Internet Protocol
VR	Virtual Reality
WLAN	Wireless Local Area Network
WMS	Warehouse Management System

1 Johdanto

Robottiikka ja tekoäly ovat tärkeässä roolissa neljännessä teollisuusvallankumouksessa, josta käytetään myös nimeä Teollisuus 4.0. Tutkielma toteutettiin osana Reboot IoT Factory -projektia, jonka tarkoituksena on edistää teollisuuden kehitystä Suomessa kohti neljättä teollisuusvallankumousta (Reboot IoT Factory, 2020). Reboot IoT Factory -projektiä koordinoivat VTT, Oulun yliopisto, Åbo Akademi sekä Aalto yliopisto (Reboot IoT Factory, 2020). Älykkään tuotantologistiikan kehittämiseen suunnattuja projekteja ja ohjelmia on meneillään myös Euroopan tasolla. Tästä hyvänä esimerkkinä on Horizon 2020, joka kohdistuu pieniin ja keskisuuriin yrityksiin Euroopassa. (Seder ja muut, 2019).

Tehokkuus, ympäristöystävällisyys sekä turvallisuus ovat kehittyvien tuotantoympäristöjen keskiössä. Yhdeksi keinoksi tehostaa ja automatisoida yritysten logistiikkaprosesseja sekä materiaalivirtoja ovat nousseet mobiilirobotit. Mobiilirobotti-käsite sisältää erityyppisiä logistiikan tueksi suunniteltuja robotteja, kuten Automated Guided Vehicle (AGV), Intelligent Guided Vehicle (IGV), Autonomous Intelligent Vehicle (AIV) sekä Autonomous Mobile Robot (AMR). Näistä kolmesta AIV on yleensä kooltaan pienempi, kun taas AGV sekä IGV muistuttavat ulkonäöltään enemmän perinteistä trukkia. Mobiilirobotteja valmistavat mm. Omron Corporation, Mobile Industrial Robots A/S (MiR), AGILOX Systems GmbH, Robotize sekä Fetch Robotics. Näiden viiden valmistajan laitteille yhteistä on maahantuonti Suomeen, ja kyseisten valmistajien laitteet ovat vertailtavana tässä tutkimuksessa.

Mobiiliroboteista on hyötyä niin logistiikan kuin tuotannonkin tehostamisessa. Hyötyihin voidaan sisällyttää virheiden eliminointi, tehokkuuden lisääminen sekä materiaalin jäljitettävyyden helpottaminen. Lisäksi aiemmin ihmistä työllistänyt tehtävä voidaan siirtää mobiilirobotin tehtäväksi ja sitä kautta tehostaa tuotantoa sekä prosesseja. (Omron Corporation, 2019a). Mobiilirobotteja hyödyntämällä voidaan myös lisätä älykkyyttä ole-massa oleviin materiaalinhallintajärjestelmiin, jolloin kyseinen toiminta tehostuu (Babic, Miljkovic, Vukovic, & Antic, 2012). Erityyppisten mobiilirobottien käyttö on myös yleistynyt viime vuosien aikana ja mobiilirobotteja on integroitu logistiikkaprosessien tueksi

useissa yrityksissä maailmanlaajuisesti. Mobiilirobottien hyötykäyttökohteita löytyy myös tuotannon ulkopuolelta: Helsingin keskustakirjasto Oodi otti keväällä 2019 käyttöön kolme mobiilirobottia, jotka kuljettavat kirjalaatikoita haluttuihin pisteisiin rakennuksessa (Oodi, 2018).

Mobiilirobottien toiminta perustuu niiden kykyyn toimia autonomisesti tai automaattisesti niille määritellyssä ympäristössä. Näille laitteille tyypillisiä tapoja havainnoida ympäristöä sekä liikkuvia objekteja ovat mobiilirobottiin asennetut sensorit tai muut havainnointilaitteet (Oodi, 2018). Havainnoinnin lisäksi mobiilirobotin tulee pystyä väistämään esteitä sekä liikkumaan luotettavasti, joustavasti ja turvallisesti alueella, jossa työskentelee myös muita ihmisiä sekä laitteita (Kenk, Hassaballah, & Brethé, 2019). Mobiiliroboteille voidaan luoda myös pohjapiirroksia tai -karttoja navigoinnin avustamiseksi ja tehostamiseksi (Posicraft Oy, 2019). Tällöin mobiilirobotille ei tarvitse luoda erikseen navigointia avustavia tekijöitä, kuten maalattuja linjoja kulkuväylille (optinen ohjaus) tai heijastavia referenssipisteitä (laserohjaus) alueelle (Inser Robótica S.A., 2018).

Mobiilirobottien käyttöönotossa tärkeässä osassa ovat niiden integroitavuus kohdeympäristön järjestelmiin sekä ohjattavuus kyseisessä ympäristössä. Muita tutkimuksia ja opinnäytetöitä on tehty useita niin mobiilirobottien navigoinnin ja liikeratojen suunnittelusta kuin materiaalivirtojen hallinnasta ja sisälogistiikan automatisoinnista. Logistiikkaprosessien ja materiaalivirtojen kartoitus onkin varsin merkittävässä roolissa mobiilirobottien käyttöönotossa, sillä sopivan mobiilirobotin valinnassa on tärkeää tuntea kohdeyrityksen materiaalinhallinta ja logistiikkaratkaisut sekä mobiilirobotin ominaisuudet ja käyttörajoitukset. Tämä tutkielma eroaa aiemmin tehdyistä tutkimuksista siten, että logistiikkaprosessien ja materiaalivirtojen kartoittamisen lisäksi selvitetään ja vertaillaan myös eri valmistajien mobiilirobottien hyötyjä ja rajoituksia sekä valitaan näistä kohdeympäristöön sopivin. Lisäksi luodaan suunnitelma valitun mobiilirobotin toteutukselle kohdeyrityksen logistiikkaprosessien tueksi ja toteutetaan se työn loppuvaiheessa.

Tutkielmassa käytetään suunnittelutieteiden (Design Science) tutkimusmenetelmää, jonka pohjalta luodun DSRM (Design Science Research Methodology) -prosessimallin osia käytetään soveltaen. Kyseisen mallin tässä tutkielmassa käytettävät osat ovat ongelman selvittäminen ja työn motivointi, tavoitteiden määrittely, suunnittelu ja kehitys, soveltuvuus selvitys, evaluointi sekä tiedonanto. (Peffer, Tuunanen, Rothenberger, & Chatterjee, 2008).

1.1 Työn rakenne ja tutkimuskysymykset

Tässä tutkimuksessa halutaan osoittaa mobiilirobottien hyöty tuotantoympäristössä sekä niiden tuoma lisäarvo. Tämän vuoksi tutkimuksessa selvitetään, suunnitellaan ja arvioidaan mobiilirobottien istuvuutta ja yhteensopivuutta kohdeyrityksen tuotantoympäristössä. Kirjallisuusselvityksen pohjalta tuodaan esille aiheesta tehdyt aiemmat tutkimukset ja työt sekä niiden tässä työssä hyödynnettävät ominaisuudet. Työssä käydään läpi mobiilirobottien teknologiat, roolit tuotannossa sekä niiden sovellusalueet tuotantoympäristössä. Myös saatavilla olevat mobiilirobotit ja niiden ominaisuudet sekä tehdään logistiikkaprosessit, tietoliikenneinfrastruktuuri ja materiaalivirrat kartoitetaan.

Kartoituksen perusteella on mahdollista suunnitella soveltuvuus selvitys, jossa käytetään kartoitusvaiheessa valittua, toteutukseen sopivinta mobiilirobottia. Soveltuvuus selvitys toteutetaan tehdyn suunnitelman mukaisesti nykyistä tuotantoympäristöä ja nykyisiä logistiikkaprosesseja mukaillen. Tämän jälkeen suoritetaan evaluointi simuloimalla mobiilirobottien toimintaa realistisessa tuotantoympäristössä. Lopuksi tarkastellaan työn tuloksia, muutosehdotuksia varsinaista käyttöönottoa varten, tulevaisuuden mahdollisuuksia ja jatkotutkimuskohteita sekä johtopäätöksiä. Tutkimusta, tuloksia ja johtopäätöksiä voidaan soveltaa mobiilirobottien käyttöönotossa sekä muissa samankaltaisissa mobiilirobotiikan sovelluksissa ja selvityksissä.

Työn tärkein tutkimuskysymys on:

”Miten tuotannon logistiikkaprosesseja voidaan tehostaa hyödyntämällä mobiilirobotteja?”

Päätutkimuskysymyksen lisäksi työssä etsitään vastausta myös seuraaviin kysymyksiin:

”Mitkä ominaisuudet ovat kriittisiä kohdeyrityksen tuotantoympäristössä käytettäville mobiiliroboteille?”

”Minkälaisia hyötyjä mobiilirobottien käyttöönotosta voidaan saavuttaa?”

2 Mobiilirobottien toiminta

Tässä luvussa käydään läpi erityyppisten mobiilirobottien toimintaperiaatteet ja teknologiat, tärkeimpänä navigointiin ja ohjaamiseen liittyvät tekijät sekä rajapinnat, joiden avulla käytössä olevia laitteita pystytään määrittelemään, ohjaamaan ja seuraamaan sekä liittämään olemassa oleviin järjestelmiin. Lisäksi pohditaan mobiilirobottien roolia logistiikassa, niiden yleisimpiä käyttökohteita ja sovellusalueita sekä perehdytään tutkielman kannalta tärkeimpiin aiemmin tehtyihin tutkimuksiin aiheesta logistiikassa sekä tuotannossa.

Navigointi, ohjaaminen, kommunikointi, rajapinnat ja turvallisuus ovat myös niitä mobiilirobottien arviointiperusteita, joiden avulla selvitetään ja arvioidaan sopivin mobiilirobotti loppuvaiheen soveltuvuusselvitykseen. Tässä luvussa pyritään avaamaan jokaista näistä aihealueista niiden merkityksen ymmärtämiseksi sekä paremmin hahmottamaan näiden ominaisuuksien vaikutusta mobiilirobottien toimintaan.

2.1 Perustyyppit

Tässä tutkielmassa käsiteltäviä logistiikan tueksi kehitettyjä automaattisia tai autonomisia robotteja ovat perustyyppit AGV, IGV, AIV sekä AMR. Näistä neljästä perustyyppistä vain AGV on automaattinen, muut perustyyppit IGV, AIV sekä AMR ovat autonomisia. Nämä neljä perustyyppiä voidaan jakaa myös kokoluokkansa perusteella kahteen ryhmään, joista ensimmäiseen ryhmään kuuluvat AGV ja IGV. Automaattinen AGV ja autonominen IGV ovat suurikokoisia ja muistuttavat ulkonäöltään perinteistä trukkia. Toiseen ryhmään kuuluvat pienemmän kokoluokan mobiilirobotit AIV ja AMR. Seuraavaksi avataan näiden neljän perustyyppin ominaisuuksia sekä eroavaisuuksia.

2.1.1 AGV ja IGV

AGV eli Automated Guided Vehicle kuuluu automaattitruckien kategoriaan tarkoittaen sitä, että tämän perustyyppin robotit kykenevät liikkumaan automaattisesti, mutta vain ennalta määriteltäviä reittejä pitkin. Vaikka laitteiden reitti on ennalta määrätty, kykenevät ne kuljettamaan suuria määriä materiaalia eri muodossa paikasta toiseen. Ennalta määritetyn reitin ansioista AGV:t ovat myös varsin luotettavia. (Inser Robótica S.A., 2018). AGV-tyyppisten robottien vajavainen kyky mukautua ja liikkua vapaasti niille määrättyssä ympäristössä asettaa toki niille myös suuria rajoitteita. Mikäli niiden ympäristöön tulee suuria muutoksia, täytyy niille määritellyt polut suunnitella ja toteuttaa uudelleen. Tätä voidaan pitää yhtenä ratkaisevana tekijänä IGV:n, AIV:n ja AMR:n kaltaisten autonomisten robottien kehittämiseksi.

AGV järjestelmistä (Automated Guided Vehicle Systems) puhuttiin ensimmäisen kerran jo yli 60 vuotta sitten, mutta ensimmäisenä askeleena kehityksessä voidaan pitää ajoneuvoyhdistelmää, jonka toteuttivat silloinen Barret-Cravens of Northbrook, Illinois vuonna 1954. Kyseinen ajoneuvoyhdistelmä liikkui alun perin kiskoilla, mutta lattiaan asennettujen sähköä johtavien liuskojen avulla se kykeni kääntymään ja liikkumaan. 1960-luvulla alettiin puhua miehittämättömästä, sensorivarusteisesta AGV:stä, joita käyttöön otettiin ensimmäisenä autoteollisuudessa. (Ullrich, 2015).

Perinteisen AGV:n toiminta voi perustua Inser Robótica S.A.:n (2018) mukaan:

1. Reitin määrittelyyn lattiaan piilotettuja metallilankoja tai magneetteja hyödyntäen.
2. Lattiaan luotujen, junarataa muistuttavien reittien optiseen navigointiin.
3. Navigointiin laserjärjestelmän sekä alueelle asennettujen heijastavien referenssipisteiden perusteella.
4. Gyroskooppien, matkamittareiden sekä muiden kehittyneiden navigointitekniikoiden hyödyntämiseen. Näistä käytetään termiä Inertia Guided Vehicle, jota ei kuitenkaan tule sekoittaa Agiloxin kehittämään Intelligent Guided Vehicle -termiin.

IGV eli Intelligent Guided Vehicle on AGILOX Systems GmbH:n luoma tuoteryhmä, joka eroaa perinteisestä AGV:stä sen älykkäällä teknologialla sekä joustavilla ominaisuuksillaan. IGV on suunniteltu korvaamaan perinteiset AGV tyyppiset vihivaunut ajan saatossa, sillä se kykenee samaan tai jopa enempiin kuin perinteiset AGV:t ilman niiden tuomia liikkumiseen ja navigointiin liittyviä rajoitteita. AGILOX IGV:n erottaa muista tutkielmassa käsiteltävistä mobiiliroboteista se, ettei laivueen ohjaamiseen tarvita minkäänlaista ulkoista ohjausjärjestelmää vaan kaikki laivueen laitteet keskustelevat itsenäisesti keskenään. (AGILOX Systems GmbH, 2019a).

AGILOX IGV:n toiminta perustuu hintapohjaiseen tilan navigoimiseen ja navigointi on toteutettu liikkumisalueen pohjapiirroksen sekä laserpohjaisten sensoreiden avulla. Sensorit havaitsevat esteitä ja laite pyrkii saadun tiedon perusteella kiertämään niitä. Lisänä on koko laitteen ympäröivän olevan alueen jatkuva skannaus lasertekniikalla, joka sijaitsee laitteen yläosassa. Näiden avulla AGILOX IGV pystyy kulkemaan ja kääntymään huomattavan ahtaissa tiloissa. (AGILOX Systems GmbH, 2019a). Vaikka AGILOX IGV muistuttaa ulkonäöltään perinteistä AGV:tä on sen toimintaperiaate silti lähempänä AIV:n sekä AMR:n kaltaista mobiilirobottia. Siinä yhdistyvät perinteisten vihivaunujen kantokyky sekä mobiilirobottien ketteruus ja joustavuus, lisäksi mukaan myös uusia ominaisuuksia sekä kehittyneitä teknologioita.

2.1.2 AIV ja AMR

AIV eli Autonomous Intelligent Vehicle sekä AMR eli Autonomous Mobile Robot kuuluvat autonomisiin mobiilirobotteihin eli ne kykenevät itsenäiseen liikkumiseen sekä itsenäiseen reitinvalintaan. Tämän lisäksi näiden mobiilirobottien suurin eroavaisuus perinteiseen vihivaunuun nähden ovat niiden kyky tarvittaessa uudelleen määrittellä reittinsä (dynaaminen reitin määrittely), esim. esteen tai muun sensorihavainnon seurauksena (Inser Robótica S.A., 2018). Navigoinnin tueksi mobiilirobotille opetetaan pohjapiirros navigoitavasta alueesta, kuten tehtaasta, jonka lisäksi erilaisilla sensoreilla kyetään

havaitsemaan pohjapiirroksesta poikkeavat esteet tai muut sensorihavainnot (Posicraft Oy, 2019).

Nämä kaksi perustyyppiä eivät välttämättä tarvitse alueen pohjapiirroksen ja laitteen sensoreiden lisäksi navigointiin muita avustavia tekijöitä, mutta niille on silti mahdollista saada navigointia tehostavia komponentteja tai lisävarusteita (Omron Corporation, 2019b). Näistä yhtenä esimerkkinä Omron AIV:hen saatavilla oleva liikkumisalueen katotolamppujen sijaintien ja suuntien perusteella luotu kartta, joka voidaan yhdistää pohjapiirrokseen taaten tehokkaampi sekä vaivattomampi navigointi leveillä käytävillä ja suurilla avonaisilla alueilla (Omron Corporation, 2019b).

2.2 Navigointi

Navigoinnista puhuttaessa voidaan yksinkertaisuudessaan ajatella laitteen, tässä tapauksessa mobiilirobotin liikkumista pisteestä A pisteeseen B sekä näiden pisteiden väliin jäävää matkaa. Olipa sitten kyseessä navigointi ennalta määriteltyä reittiä pitkin, alueelle määriteltyjen kohdepisteiden avulla tai vaikkapa reitin määrittely pohjapiirroksen perusteella, on näille kaikille yhteistä kustannustehokkaimman reitin valitseminen. Tässä uudet sekä kehittyvät sensortechnologiat navigoinnin edistämiseksi tulevatkin hyvin esille.

Pienimmätkin muutokset kuljetun matkan pituudessa, nopeudessa tai tehokkuudessa näkyvät pitkällä aikavälillä ja useiden toistojen myötä huomattavan suurina. Navigointia voidaan siis pitää samalla yhtenä yksinkertaisimpana mobiilirobotin ominaisuutena sekä yhtenä suurimpana muutoksentehtäjänä niiden toiminnan kannalta. Tehokkaan toiminnan varmistamiseksi navigoinnin tulisi toimia moitteetta ja liikkumisen, kuten kiihdytyksen, hidastamisen, kääntymisen ja suoraviivaisen liikkeen sekä liikkeiden hienosäädön tapahtua sujuvasti.

Yhtenä navigointikeinona voidaan pitää optista navigointia maalattujen linjojen perusteella, joka on AGV:lle yleinen navigointitapa. Toinen näille laitteille yleinen keino on

magneetteja hyödyntävä navigointi. (Inser Robótica S.A.,2018). Tzafestas (2018) taas tuo esiin mobiilirobottien reitin- ja liikesuunnitteluun sekä lokalisaatioon ja kartoitukseen liittyviä menetelmiä sekä rajoituksia. Mobiilirobotin liikkussa paikasta toiseen täytyy sen määrittellä sekä reitti että liikeradat päätepisteeseen päästäkseen ja mahdolliset toiminnot matkan varrella tai päätepisteessä suoritettaviin tehtäviin liittyen. Navigoinnin mahdollistamisen perusedellytys mobiiliroboteille on reitinsuunnittelu, johon sisältyviä toimintoja ovat mobiilirobotin lokalisaatio, reitin määrittely ja suunnittelu sekä pohjapiirroksen rakentaminen ja tulkitseminen. Näiden toimintojen perusteella mobiilirobotti tietää sijaintinsa muuhun tilaan nähden sekä osaa paikoittaa itsensä pohjapiirroksessa tämän tiedon perusteella. (Tzafestas, 2018).

Välttääkseen esteitä ja törmäyksiä täytyy mobiilirobotin suunnitella liikkeensä saadun tiedon perusteella tilannekohtaisesti. Näiden liikeratojen yhdistelmänä muodostetaan reitti alkupisteestä loppupisteeseen ja väistettäessä reitti määritellään dynaamisesti uudelleen. SLAM (simultaneous localization and mapping) tarkoittaa ongelmaa kartoituksessa, jossa mobiilirobotti on tuntemattomassa sijainnissa sekä tuntemattomassa ympäristössä. SLAM-ongelman yhtenä ratkaisuna on esitetty EKF (extended Kalman filter). (Tzafestas, 2018). Ko, Ryuh, Kim, Suprem ja Mahalik (2015) todensivat tutkimuksessaan Kalman filter -pohjaisen algoritmin toiminnallisuuden nelipyöräisen mobiilirobotin navigointijärjestelmän mittausvirheiden sekä kohinan poistajana.

Bačík et al. (2017) sairaalakäyttöön kehittämän Pathfinder-mobiilirobottiprototyypin navigaatiojärjestelmä toteuttaa eräänlaisen SLAM-ratkaisun, jolloin Pathfinder pystyy päivittämään karttaa ympäristöstään sekä päivittämään myös laitteen lokalisaatiota samanaikaisesti. Pathfinder-mobiilirobotin pääpainona on kestävä rakenne sekä autonominen navigointijärjestelmä, jonka komponenttien ja ohjelmistojen yhdistelmä on varta vasten kehitetty. Pathfinder sisältää lisäksi ympäristön ja esteiden skannausta varten kaksi SICK LMS100 LiDAR-anturia, joiden avulla voidaan edistää turvallisuutta sekä välttää törmäyksiä. (Bačík et al., 2017).

Gao, Xin, Cheng, Liu ja Li (2018) käsittelevät logistiikan tukena sensoripohjaista navigointia mobiilirobotissa, jossa on sekä sisäisiä sensoreita että ulkoisia sensoreita oman tilan havaitsemiseen sekä ympäristön havainnointiin. Tästä navigointijärjestelmästä käytetään termiä autonominen navigointijärjestelmä, joka on vaatimus mobiilirobotin tehokkaaseen toimintaan. Mobiiliroboteilla, jotka käyttävät autonomista navigointijärjestelmää on hyvin suuri käyttöarvo logistiikan tukena juuri esteiden väistämisen, dynaamisen reitinvalinnan sekä muuttuvan ympäristön havainnointikyvyn ansioista. (Gao, Xin, Cheng, Liu, & Li, 2018).

Gao, Xin, Cheng, Liu ja Li (2018) esittävät kahden algoritmin, Dijkstran sekä ARA*:n (Any-time Repairing A*) vertailun reitinsuunnittelun toteuttamiseksi. Algoritmien sopivuutta testattiin piirtämällä koordinaatistoon sijainnit suunnitellulle reitille, jotka osoittautuivat lähes yhteneväisiksi. Suurimmaksi näiden kahden algoritmin väliseksi eroksi osoittautui reitinvalintaan käytetty aika, jossa ARA* (0,32 sekuntia) oli huomattavasti nopeampi kuin Dijkstra (2,56 sekuntia). Tämän perusteella todettiin, että ARA* soveltui tässä tapauksessa paremmin mobiilirobotin reitinsuunnitteluun. Lisäksi tutkimuksessa osoitetaan älykkään mobiilirobotin reitinsuunnittelun ja autonomisen liikkumisen tärkeys. (Gao, Xin, Cheng, Liu, & Li, 2018).

Myös Kamoshida ja Kazama (2017) painottavat tutkimuksessaan reitinsuunnittelun tärkeyttä mobiilirobottien toiminnan tehokkuuden varmistamiseksi ja ylimääräisen odotusajan minimoimiseksi. Kyseisen tutkimuksen reitinsuunnittelumenetelmä perustuu syvään vahvistusoppimiseen, jossa käytetään korkeaulotteisia pohjapiirroksista kerättyjä tietoja opettamisen apuna (Kamoshida, & Kazama, 2017). Wang ja Du (2016) mainitsevat myös tutkimuksessaan ulkoympäristön mobiilirobotin tärkeänä ominaisuutena korkean tarkkuuden navigointijärjestelmän, jonka lisäksi painotetaan myös älykkään ja autonomisen reitinvalinnan sekä nopeudensäädön tärkeyttä. Mobiilirobottien navigointijärjestelmässä voidaan hyödyntää myös eläimille ja hyönteisille ominaisia havainnointimenetelmiä, kuten valonlähteiden havainnointia (Lambrinos, Möller, Labhart, Pfeifer, & Wehner, 2000).

2.3 Ohjaaminen

Mobiilirobotin ohjaaminen voidaan toteuttaa laitteesta käsin tai vaihtoehtoisesti ulkoisella ohjauslaitteella tai -järjestelmällä. Joissain tapauksissa laitetta voidaan ohjata ja käskyttää myös graafisen käyttöliittymän avulla. Nämä keinot ovat kuitenkin useammin tarkoitettuja testitarkoituksiin ja opettamiseen, mobiilirobotin käyttöalueen kartoittamiseen tai manuaaliseen ajoon ja ohjaukseen. Todellisuudessa käytössä olevaa mobiilirobottia tulisi ohjata ohjausjärjestelmä, joka käskyttää mobiilirobottilaivuetta tai ottaa käskyt ulkoisilta järjestelmiltä. Ohjausjärjestelmistä, rajapinnoista ja työjonoista enemmän luvussa 2.5.

Tzafestas (2018) mainitsee erilaisten mobiilirobottien ohjaukseen useita keinoja, kuten hyvin paljon käytössä olevat mukautuvat ohjausmenetelmät MRAC (model reference adaptive control) sekä STC (self-tuning control). Näistä kahdesta tyypillisempi menetelmä on MRAC, joka toteuttaa kaksipyöräisille mobiiliroboteille mukautuvan takaisinkytkennän seurantaohjaimen. Lisäksi epälineaarille järjestelmille suunniteltu robusti ohjausmenetelmä SMC (sliding mode control) on tehokas menetelmä, jota voidaan hyödyntää myös kaksipyöräisten mobiilirobottien ohjaamisessa. (Tzafestas, 2018).

Mobiilirobottien ohjaukseen on löydetty toimivia menetelmiä myös sumean logiikan (fuzzy logic) ja hermoverkkojen (neural networks) puolelta, joiden avulla voidaan mobiilirobottien kohdalla toteuttaa tunnistaminen, suunnittelu sekä ohjaaminen. Sumean logiikan avulla voidaan saada tuloksia ja johtopäätöksiä myös arvojen ja määrittelyjen ollessa epävarmoja, joka lienee pääsyy menetelmän käyttöön mobiilirobottien ohjauksessa. Hermoverkkojen avulla voidaan taas opettaa ja kouluttaa mobiilirobottien ohjausta autonomisesti, valvotusti tai vahvistetusti. Nämä kaksi menetelmää, sumea logiikka ja hermoverkot yhdistämällä onkin luotu menetelmä NFS eli neuro-fuzzy systems, jossa yhdistetään molempien menetelmien parhaat puolet taaten parempi lopputulos. (Tzafestas, 2018). Myös Wang ja Du (2016) hyödynsivät ulkoympäristön mobiilirobotin ohjausjärjestelmässä onnistuneesti SMC-menetelmän (sliding mode control) sekä hermoverkkojen (neural networks) yhdistelmää.

Yhtenä tehokkaana mobiilirobotin ohjauksen tukena Tzafestas (2018) mainitsee myös näköperusteisen ohjaamisen menetelmän VRC (vision-based robot controller), joka antaa mobiilirobotille kyvyn havainnoida ympäristöään ilman fyysistä kontaktia ja tämän perusteella mahdollisuuden hallinnoida liikkumistaan kyseisessä ympäristössä. Kamoshida ja Kazama (2017) taas ehdottavat älykästä ohjausmenetelmää logistiikan tueksi sekä useiden samassa tilassa työskentelevien mobiilirobottien toiminnan ja tehokkuuden varmistamiseksi. Kyseisessä tutkimuksessa esitetään älykkääseen reitinsuunnittelu-tekniikkaan perustuva ohjausmenetelmä, jonka avulla voidaan ohjata ja hallinnoida useita mobiilirobottiyksiköitä (Kamoshida, & Kazama, 2017). Sabattini ja muut (2018) esittävät myös saman kaltaisen usean samassa tilassa työskentelevän mobiilirobotin ohjaus- ja hallintajärjestelmän perusedellytykset, joihin kuuluvat laitteiden reittien koordinaointi, reittien optimointi, tehtävien jako laitteiden kesken sekä liikkumisen koordinaointi sujuvuuden takaamiseksi.

2.4 Kommunikointi

Kommunikoinnilla tarkoitetaan tässä tutkimuksessa mobiilirobottien kykyä ja keinoja keskustella keskenään toisten laivueessa olevien mobiilirobottien kanssa sekä erinäisten rajapintojen tai ohjausjärjestelmien kanssa. Mobiilirobottien välisellä kommunikoinnilla voidaan saavuttaa parhaimmassa tapauksessa korkeatasoinen parviäly. Toisiinsa yhteydessä olevista tai ohjausjärjestelmän kautta keskustelevien mobiilirobottien hyötyjä voidaan havaita esim. työnjaossa ja käskytyksessä, kun taas turvallisuutta ja joustavuutta lisää mobiilirobottien tieto toisten laivueessa olevien mobiilirobottien sijainnista, nopeudesta ja kulkusuunnasta. Kommunikoinnin toimiessa sujuvasti ei mobiilirobottien tarvitse edes havaita toisiaan tietääkseen kaiken tarvittavan muista laivueen jäsenistä.

Kamoshida ja Kazama (2017) painottavat kommunikoinnin tehostamisessa älykkään reitinsuunnittelumenetelmän valintaa, jotta voidaan välttyä ylimääräisiltä laivueenhallintaan sekä reitinsuunnitteluun liittyviltä ongelmilta. Näitä ongelmia ovat esim. ylimääräiset odotusajat huonon reitinsuunnittelun takia tai tungokset risteyskohdissa

mobiilirobottien työskennellessä samassa tilassa. Tutkimuksessa esitetään apukeinoja näihin ongelmatilanteisiin, kuten nopeimman tungosta välttävän reitin etsiminen ottaen huomioon muiden samassa tilassa liikkuvien mobiilirobottien suunnitellut reitit. Reitinvalinta kyetään tekemään kolmiulotteisen vektorin avulla, joka sisälsi lyhimmän matkan reitin, lyhimmän ajan reitin sekä lyhimmän tungoksen välttävän reitin. Jokainen lyhin reitti koostuu 235-ulotteisesta (235 solmua) vektorista. Jokaisen solmu saa arvon 0 mikäli solmu ei kuulu lyhimpään reittiin tai arvon 1 mikäli solmu kuuluu lyhimpään reittiin. Lisäksi reitinvalintaan vaikuttaa vahvasti myös neljäs 235-ulotteinen vektori, joka saa arvon 0 tai suurempi sen perusteella kuinka monen muun mobiilirobotin suunniteltu reitti risteää kyseisen solmun. (Kamoshida, & Kazama, 2017).

Kommunikaation tärkeys AGV-laitteiden sekä mobiilirobottien integraation ja toiminnan kannalta oli painotettuna myös jo Schulzen ja Wullnerin (2006) tutkimuksessa AGV-järjestelmistä. Kommunikaation tärkeys näkyy myös Bačík et al. (2017) tutkimuksen painotuksessa Pathfinder-mobiilirobotin kommunikaatiokykyyn, joka on toteutettu langattoman verkon välityksellä. Laitte kommunikoi niin ulkoisen ympäristön kuin sitä ohjaavien käyttöliittymien kanssa. Pathfinder-mobiilirobotti voi esim. kutsua hissiä sekä antaa ilmoituksia kuljetuksista tai diagnostiikkasyistä. (Bačík et al., 2017).

Myös Nielsen, Dang, Bocewicz ja Banaszak (2017) pitävät tärkeänä kommunikaatiota useiden mobiilirobottien välillä sekä tuotannon järjestelmien ja mahdollisten käyttäjien välillä. Tutkimuksessa todetaan kommunikaation olevan vahvassa roolissa mobiilirobotien integraatiossa tuotannon järjestelmiin ja laitteisiin sekä tietoliikenneinfrastruktuuriin. Lisäksi mainitaan pilvipohjaiset tuotantoympäristöt (cloud-based manufacturing environment), joihin mobiilirobotin liittäminen ei olisi mahdollista ilman sujuvaa kommunikointia ja tiedonvaihtoa laitteiden sekä järjestelmien välillä. (Nielsen, Dang, Bocewicz, & Banaszak, 2017).

Sabattini ja muut (2018) painottavat tutkimuksessaan myös muiden tutkimusten tapaan kommunikaation tärkeyttä laitteiden välillä, mutta varsinkin laivuetta ohjaavan ohjaus-

ja hallintajärjestelmän sekä yksittäisten laitteiden välillä. Ohjaus- ja hallintajärjestelmän perustehtäviin kuuluu luoda laitteiden välille tieto ympärillä sijaitsevista muista laitteista sekä toimia liikenteenvalvojana. Lisäksi tehtäviin kuuluu työjonosta tehtävien jakaminen sekä risteys- tai tungoskohdissa toimimisen määrittely mobiilirobottilaivueen laitteille. (Sabattini ja muut, 2018).

2.5 Rajapinnat ja käyttöliittymät

Tässä luvussa käsitellään sekä rajapintoja että käyttöliittymiä mobiilirobotiikassa. Rajapintojen avulla voidaan yhdistää mobiilirobotti ulkoisiin laitteisiin tai järjestelmiin, jolloin kommunikointi näiden laitteiden tai järjestelmien välillä mahdollistuu. Rajapintojen avoimuus ja monimuotoisuus antaa mukautuvuutta mobiilirobottien toteutukseen sekä käyttöönottoon. Käyttöliittymällä on olennainen rooli mobiilirobotin toiminnassa: käyttöliittymän avulla voidaan ohjata, valvoa ja hallita sekä kommunikoida yksittäisen mobiilirobotin tai mobiilirobottilaivueen kanssa.

Kyseisten ohjausohjelmistojen tai -järjestelmien sekä rajapintojen avulla voidaan usein myös vastaanottaa ja lähettää erinäisiä käskyjä yhteydessä oleville laitteille tai kerätä laitteista informaatiota. Erinäiset rajapinnat ovat tärkeässä osassa integrointiprosessia ja käyttöönottoa, lähinnä laitteen tai laitteiden yhdistämisessä tietoliikenneinfrastruktuuriin sekä kommunikoinnissa olemassa olevien järjestelmien kanssa. Käyttöliittymien käytön helppous, yksinkertaisuus ja käyttäjäystävällisyys vaikuttavat myös suuresti käyttäjäkokemukseen sekä sitä kautta käyttöönottoon ja sen helppouteen.

Tzafestas (2018) toteaa mobiilirobotiikan autonomisen käyttäytymisen saaneen pohjaa tekniikoista kuten IC (intelligent control), jotka saivat alkunsa usean arkkitehtuurin ryhmästä nimeltään ICA (intelligent control architectures). ICA koostuu viidestä eri arkkitehtuurista, joiden määrittelyjä sekä vaatimuksia tutkimuksen mukaan suurin osa nykyään kehitetyistä ohjelmistoista sekä integroiduista järjestelmistä mobiiliroboteille seuraa tavalla tai toisella (Tzafestas, 2018).

Viisi ICA-arkkitehtuuria Tzafestas (2018) mukaan ovat:

- Hierarchical ICA.
- Multiresolutional/nested ICA.
- Reference model ICA.
- Behavior-based ICA.
 - Subsumption ICA.
 - Motor schemas ICA.
- Task ICA.

Kuten useimpien mobiilirobottivalmistajien laitteet, sisältää Bačík et al. (2017) kehittämä Pathfinder-mobiilirobotti myös käyttöliittymän, jonka päätarkoituksena on vaihtaa ohjaustilaa kolmen eri tilan välillä: manuaali-, tabletti- ja automaattitila. Manuaalitilan pääasiallinen käyttö on manuaaliajo sekä käyttöönoton yhteydessä tehtävän pohjapiirroksen kartoitus. Tablettitilassa voidaan taas Android-käyttöliittymästä käsin hyödyntää Pathfinder-mobiilirobotin ominaisuuksia kuten diagnostiikkatyökaluja, tavoitemaalain asetusta tai kauko-ohjausta. Automaattitilassa ollessaan Pathfinder suorittaa tehtäviä ennalta asetettujen määritysten sekä käskyjen mukaisesti. (Bačík et al., 2017). Nielsen, Dang, Bocewicz ja Banaszak (2017) taas esittävät metodologiassaan ennalta määritellyt rajapinnat mobiilirobotin järjestelmille sekä työkaluille.

Eilers ja Rossman (2014) esittävät logistiikkalaitoksen 3D-laserskannauksen perusteella luodun AGV-järjestelmän VR (virtual reality) eli virtuaalitodellisuutta hyödyntävän simulaation. Tätä järjestelmää voidaan ohjata joko sisäisellä ohjausjärjestelmällä tai kytke-mällä ohjausväline TCP/IP-rajapintaan. Kyseisen tutkimuksen yhtenä tavoitteena on saada toimiva rajapinta, jonka avulla simuloitavat laitteet saisivat saman syötteen kuin todellisessa ympäristössä toimivat laitteet. (Eilers, & Rossman, 2014).

2.6 Turvallisuus

Turvallisuus on tällä hetkellä ja tulee olemaan jatkossakin yksi tärkeimmistä autonomisesti tai automaattisesti toimivan laitteen pääasiallisista vaatimuksista. Turvallisuuteen liittyvät tekijät hidastavat tehtäviä toimintoja, mutta auttavat kuitenkin pienentämään turvallisuusriskejä sekä vähentämään tapaturmia. Ongelma- tai onnettomuustilanteiden vuoksi tuotanto saattaa seistä pitkiäkin aikoja ja lisäksi voi syntyä henkilövahinkoja. Turvallisuuteen panostamalla saavutetaan turvallinen tuotantoympäristö, jossa ihmiset, kevyet kulkuneuvot ja myös autonomiset mobiilirobotit kykenevät liikkumaan sujuvasti yhdessä. Mikäli jokin turvallisuutta lisäävä ominaisuus mobiilirobottiin on saatavilla, tulisi se myös turvallisuussyistä ottaa käyttöön.

Bačík et al. (2017) painottavat kehittämässään Pathfinder-mobiilirobottiprototyypissä turvallisuuden ja törmäyksenestön tärkeyttä. Tutkimuksessa esitetään tarpeellisena koko laitteen ympäröivää turvaskannerinäkömää (360°), joka saavutetaan yhdistämällä kaksi LiDAR-anturia. Tutkimuksessa selvisi kuitenkin, ettei näiden kahden anturin yhdistäminen täyden 360°:en turvaskannerinäkömäksi onnistunutkaan suoraan, johtuen anturien asettelusta keskenään. Tähän ongelmaan löydettiin ratkaisuksi laserskannauksen muunnosalgoritmi, jolla etuantureilla skannattu informaatio saadaan määriteltä oikein. Kyseisessä tutkimuksessa tärkeäksi havaittiin myös käytettävän mobiilirobotin vankkuus sekä järjestelmien luotettavuus. Tavoitteena laitteelle oli suoriutua sille annetuista tehtävistä, väistää esteitä ja liikkua turvallisesti ihmisten seassa sekä taata ehdoton turvallisuus. (Bačík et al., 2017).

Nielsen, Dang, Bocewicz ja Banaszak (2017) esittävät mobiilirobottitoteutukselle turvallisuuden liittyen aitauksia tai aluerajoituksia sekä varoitusmerkkejä tai indikaattoreita. Lisäksi esitetään vaadittavia muutoksia tuotantolinjoihin sekä osien syöttöön turvallisen ja sujuvan toteutuksen takaamiseksi (Nielsen, Dang, Bocewicz, & Banaszak, 2017). Eilers ja Rossman (2014) kehittivät turvallisuutta ajatellen simuloidulle AGV-järjestelmälle laitteiden kulkusuuntaan nähden 180°:en näkymän, jonka pääasiallinen käyttötarkoitus oli

toimia ympäristön havainnoinnin apuvälineenä ja myös estää törmäyksiä muiden samassa tilassa toimivien laitteiden sekä esteiden kanssa.

Arana, Hafez, Joerger ja Spenko (2019) esittävät mobiilirobottien lokalisaation turvallisuuden varmistamiseksi riskien arvioinnin metodologian, jossa hyödynnetään ilmailualan lokalisaation varmuutta arvioivia menetelmiä. Kyseisen tutkimuksen tarkoituksena oli kehittää keinoja varmistua lokalisaatioon käytettävien sensoreiden ja muiden laitteiden toiminnan turvallisuudesta laitevikojen ilmentyessä. Mobiilirobotit liikkuvat kuitenkin pääasiassa ihmisten joukossa, joten vaaratilanteiden välttäminen on entistä tärkeämpää. (Arana, Hafez, Joerger, & Spenko, 2019).

Myös Sabbatini ja muut (2018) suhtautuvat ihmisten joukossa liikkuvien mobiilirobottien turvallisuuteen vakavasti. Näissä dynaamisissa ympäristöissä täytyy törmäyksien välttäminen pystyä takaamaan täysin. Tähän ratkaisuna esitetään laserturvaskannereita sekä muita havainnointia edistäviä laitteita, kuten kameroita. Turvaskannerit eivät kuitenkaan salli mobiilirobotin eritellä havaittuja esteitä, kuten ihmisiä tai staattisia esineitä, vaan ne pyrkivät toimimaan molemmissa tilanteissa samalla tavalla: välttämään kontaktia ja kiertämään esteen. (Sabbatini ja muut, 2018). Toisaalta pelkästään esteiden väistäminen ei välttämättä aina riitä. Mobiiliroboteille on esitetty myös erilainen lähestymistapa ihmisen kohdatessaan, jossa ihmisen väistäminen eroaa staattisen esteen väistämisestä (Truong, & Ngo, 2016). Tämä lähestymistapa havainnoi ihmisiä liikkeiden sekä asennon perusteella ja kyseinen lähestymistapa on turvallisuuden lisäksi myös sosiaalisesti hyväksyttävä (Truong, & Ngo, 2016).

2.7 Rooli logistiikassa

Mobiilirobotit sekä mobiilimanipulaattorit ovat olleet suuressa roolissa logistiikka-alan uudistuksissa sekä kiihdyttämässä älykkäiden logistiikkaprosessien syntyä. Logistiikkaprosessit ovat alun perin olleet hyvin työntensiivisiä, tavaran manuaalista kuljetusta paikasta toiseen, mutta suunta on entistä enemmän kohti automaatiota ja älykkäitä

logistiikkaprosesseja. (Gao, Xin, Cheng, Liu, & Li, 2018). Älykkäällä logistiikalla tarkoitetaan teknologisia keinoja saavuttaa korkeampi tehokkuus, alemmat kustannukset sekä suurempi joustavuus logistiikassa. Lisäksi tärkeässä roolissa ovat materiaalinkulutuksen vähentäminen sekä ympäristökulut. Vain näiden keinojen pohjalta kyetään rakentamaan älykkäitä tehtaita sekä älykäs yhteiskunta. (Li, Yan, & Li, 2018). Kasvavien logistiikan vaatimuksien sekä muuttuvien logistiikka- ja tuotantoympäristöjen vuoksi mobiilirobottien täytyy kyetä siis myös navigoimaan autonomisesti sekä mukautumaan näihin uusiin ympäristöihin. Syynä mobiilirobottien suosioon logistiikkaprosessien ja materiaalivirtojen tukena ovat laitteiden korkea automaation taso sekä tehokkuus. (Gao, Xin, Cheng, Liu, & Li, 2018).

Materiaalivirran päätarkoituksena on materiaalin vienti sekä tuonti operatiivisiin yksiköihin, kuten työpisteisiin tai koneisiin. Materiaalivirran ongelmatilanteita, kuten yli- tai alitarjontaa pyritään välttämään eri keinoin, sillä se laskee tuotannon tehokkuutta huomattavasti. Mobiilirobotit ovatkin yksi keino optimoida ja tehostaa tuotannon logistiikkaprosesseja sekä automatisoida materiaalivirtoja. (Schulze, & Wullner, 2006). Kamoshida ja Kazama (2017) toteavat keräilyn eli tiettyjen materiaalien varastosta noudon olevan logistiikkaprosesseista työläin. Tutkimuksessa mainitaan erilaisten AGV-järjestelmien toteutuksia vuosien varrella, joiden avulla on pyritty automatisoimaan logistiikkaprosesseja ja materiaalivirtoja sekä parantamaan tuottavuutta ja vähentämään kustannuksia. Kyseisessä tutkimuksessa havaittiin useista mobiiliroboteista koostuvan mobiilirobottilaivueen soveltuvan parhaiten keräilyhyllyjen kuljetukseen keräilijöiden tueksi. (Kamoshida, & Kazama, 2017).

Sabattini ja muut (2018) totesivat automaatiota olevan paljon laajemmassa määrin käytössä tuotannon valmistusvaiheissa kasvattaen tuottavuutta sekä tehokkuutta siellä, mutta samaa automaatioastetta ei ole yleisellä tasolla saavutettu logistiikan puolella. Suurin osa mobiilirobotiikkaan liittyvistä ratkaisuista logistiikan tueksi kattavat vain hyvin tarkoin määritellyn skenaarion. Tavoitteena on kuitenkin saada mobiilirobotiikan

ratkaisuja yleisemmälle ja laajemmalle tasolle, jotta toteutuksista saadaan suurempi hyöty. (Sabattini ja muut, 2018).

Myös Wang ja Du (2016) totesivat mobiilirobottien olevan tärkeässä roolissa logistiikassa, erityisesti uudenaikaisten logistiikkajärjestelmien nopeassa kehityksessä. Tärkeimpänä mobiilirobottien tuomana hyötynä pidettiin muiden tutkimusten tavoin lisättyä tehokkuutta sekä älykkyyttä, joita laitteet tuovat nykyaikaisiin logistiikkajärjestelmiin (Wang, & Du, 2016). Li, Yan ja Li (2018) tutkivat myös älykkään logistiikan tuomia etuja etenkin logistiikkateollisuudelle. Kyseisessä tutkimuksessa ehdotetaan kehityksen suunta ja fokus älykkään logistiikan toteutuksille, joista tärkeänä kehityksen kannalta pidetään älykkäitä mobiilirobotteja. Mobiilirobotteja tehokkaasti hyödyntämällä voidaan nähdä suuria säästöjä logistiikkakustannuksissa sekä kehittää logistiikkaprosesseja ja tehostaa materiaalivirtoja. (Li, Yan, & Li, 2018).

Nielsen, Dang, Bocewicz ja Banaszak (2017) havaitsivat metodologiassaan mobiilirobotiteknologian soveltuvan parhaiten logistiikkaympäristön sovelluskohteisiin. Tutkimuksessa mainittiin myös logistiikkaprosessin tehtävien olevan mobiiliroboteille joko hyvin helposti toteutettavissa olevia, kuten kevyitä kuormia eri muodossa tai täysin toteutuskelvottomia tehtäviä johtuen kuorman suuresta koosta tai painosta. Mobiilirobotit soveltuvat yksinkertaisuudessaan parhaiten materiaalin kuljetukseen tai osien syöttöön tuotantolinjoille, eli periaatteessa tehtäviin, jotka vaativat mahdollisimman vähän materiaalin manipulaatiota. (Nielsen, Dang, Bocewicz, & Banaszak, 2017). Toisaalta Ma, Hu, Dai ja Qian (2008) esittivät mobiiliroboteille menetelmän, jonka pohjalta laite kykenisi havaitsemaan, tunnistamaan sekä seuraamaan tiettyä henkilöä sisätiloissa. Tämä voisi osoittautua hyödylliseksi logistiikan puolella erityisesti settikeräilyssä. Andersen ja muut (2017) taas esittivät mobiilirobottijärjestelmän, joka koostuu mobiilirobotista ja sen päälle asennetusta tarttujarobotista.

Bačík et al. (2017) tutkimuksen pääpainona olivat logistiikkaprosessien optimointi ja automaatio, joiden kerrottiin olevan yksi keino lisätä materiaalinkäytön sekä kuljetuksen

tehokkuutta sairaalaympäristössä. Logistiikkapuolta on pyritty kehittämään sairaaloissa jo useilla eri keinoilla, kuten mobiiliroboteilla, kuljettimilla sekä putkipostilla. Näiden eri keinojen tarkoituksena on lisätä automaation tasoa sairaalaympäristössä. Tutkimuksessa kehitetyn Pathfinder-mobiilirobottiprototyyppi kykeni kattamaan täyden kahdeksan tunnin työpäivän logistiikkavaatimukset, perustuen akun keston. Lisäksi akku on täyteen ladattuna alle kahdessa tunnissa, joten tarvittaessa laitteen ei tarvitse olla toimettomana kovinkaan pitkiä aikoja. Tehokas sekä nopeasti latautuva akku tuntuukin olevan yksi tärkeimmistä edellytyksistä mobiiliroboteille. (Bačík et al., 2017).

Yksi mahdollinen mobiilirobottien rooli logistiikassa pohjautuu simulaatioon ja siitä kerättyyn informaatioon. Mobiiliroboteista ja niiden toiminnasta voidaan kerätä informaatiota simuloimalla niiden toimintaa mallinnetussa todellisessa logistiikka- tai tuotantoympäristössä. Saadun tiedon perusteella voidaan tehostaa mobiilirobottien toimintaa ja löytää epäkohtia tuotantoympäristön mobiilirobottien toiminnasta. Lisäksi mobiilirobottilaivuetta simuloimalla voidaan selvittää todellisen tuotantoympäristön mobiilirobottiyksiköiden määrällinen tarve sekä muut laitteisiin liittyvät vaatimukset. (Eilers, & Rossman, 2014).

2.8 Sovelluskohteet ja tutkimukset

Tässä luvussa on taulukoitu ja esitetty useita viimeaikaisia sovelluskohteita mobiiliroboteille teollisuudessa, logistiikassa sekä erilaisissa tuotantoympäristöissä. Seuraavassa taulukossa (ks. taulukko 1) käsiteltävistä sovelluskohteista on tarkempi kuvaus alempana, jossa käsitellään aiempia tutkimuksia mobiiliroboteista tuotannossa sekä logistiikassa. Aihealueen aiempiin tutkimuskohteisiin on sisällytetty pääasiassa logistiikan tueksi varastoihin, automaattivarastoihin tai muuhun materiaalinhallintaan liittyviä tutkimuksia, jotka eivät välttämättä liity suoraan teollisuuteen tai tuotantoon. Aihealueen aiempiin tutkimuskohteisiin on myös sisällytetty tärkeimpiä suunnitelmia, tapaustutkimuksia ja toteutuksia teollisuudessa sekä erilaisissa tuotantoympäristöissä. Näitä tutkimuksia tarkastelemalla ja esiin tuomalla saadaan päteviä vertauskohtia nyt tehtävälle tutkimukselle.

Taulukko 1. Tarkasteltavien tutkimusten sovelluskohteet aikajärjestyksessä.

Muller, Cardinal ja Baumbach (2002) simuloivat aikasidonnaisten painokoneiden tueksi paperiteollisuuden AGV-järjestelmää, jonka avulla minimoidaan häiriöaika sekä lisätään tehokkuutta ja tuottavuutta.
Hossain, Ali, Jamil ja Haq (2010) ehdottavat taloudellista tutkimustarkoitukseen rakennettua kahden laitteen AGV-järjestelmää, jonka pääasiallisena tehtävänä on suorittaa kuorman kuljetustehtäviä testaus-tuotantoympäristössä.
Eilers ja Rossman (2014) mallintavat logistiikkalaitoksen AGV-järjestelmän simulaation virtuaalitodellisuudessa, jonka perusteella voidaan kerätä sekä visualisoida tietoa logistiikkalaitoksen materiaalivirran tehokkuudesta.
Wang ja Du (2016) pohtivat älykästä mobiilirobottitoteutusta logistiikan tueksi ulkoympäristöön, jolloin laitteen täytyy kyetä huomioimaan ulkotilan tuntemattomat tekijät toiminnassaan sekä liikkua vakaasti ja tarkasti tilanteesta riippumatta.
Bačík et al. (2017) esittävät sairaalaympäristön lääketarvikekuljetukseen Pathfinder-mobiilirobotin, joka kulkee varaston ja päärakennuksen sekä klinikoiden väliä ihmisten seassa.
Nielsen, Dang, Bocewicz ja Banaszak (2017) esittävät metodologian mobiiliroboteille mukautuviin tuotantoympäristöihin, kuten pilvipohjaiseen tuotantoympäristöön (cloud-based manufacturing environment). Mobiilirobottien muutoksia ja vaikutuksia näihin tuotantoympäristöihin voidaan havaita todellisen tuotantoympäristön demonstraation avulla (Nielsen, Dang, Bocewicz, & Banaszak, 2017).
Kamoshida ja Kazama (2017) ehdottavat mobiilirobotteja logistiikan tueksi keräilyyn, jolloin useat mobiilirobotit työskentelisivät samassa tilassa ihmisten kanssa kuljettaen keräilyhylyjä keräilijöille.
Sabattini ja muut (2018) ehdottavat automaattivarastoissa kuormalavoja kuljettavien AGV-järjestelmien avulla sensoritekniikan parannuksia PAN-Robots (Plug and Navigate) projektin muodossa. Projektin tavoitteena on kasvattaa autonomisuutta sekä tehokkuutta tuotantologistiikan AGV-järjestelmissä, jonka laitteet liikkuvat samassa tilassa ihmisten kanssa (Sabattini ja muut, 2018).
Li, Yan ja Li (2018) analysoivat mobiilirobottien käyttökohteita älykkäässä logistiikassa ja toteavat, että älykkäät mobiilirobotit ovat kehityksen kannalta kriittinen osa älykkään logistiikan kokonaisuutta. Tutkimuksessa todettiin kolme tärkeintä kehityskohdetta mobiilirobotiikalle: älykäs tehdas, älykäs teollisuus ja älykäs logistiikka (Li, Yan, & Li, 2018).
Gao, Xin, Cheng, Liu ja Li (2018) ehdottavat mobiilirobotteja erilaisiin lajittelutehtäviin sekä erinäiseen materiaalin kuljetukseen erikseen määriteltyjen alueiden mukaisesti, joissa voi työskennellä myös ihmisiä tai sijaita dynaamisia esteitä.
Arana, Hafez, Joerger ja Spenko (2019) mallintavat ja kartoittavat mobiilirobottien lokalisaation turvallisuutta simuloimalla erilaisia ääri- sekä vaaratilanteita, kuten huomaamattomia laitevikoja tai sensorivikoja laitteiden toimiessa samassa tilassa ihmisten kanssa.

Muller, Cardinal ja Baumbach (2002) totesivat paperiteollisuuden paperinsyötön täydennyksen olevan hyvin dynaamista sekä aikasidonnaista, jotta painokoneet eivät olisi toimitettomana. Häiriöajan minimoimiseksi ja tehokkuuden parantamiseksi lähdettiin toteuttamaan AGV-järjestelmän suunnittelua paperiteollisuudessa simulaation avulla. Uuden AGV-järjestelmän tuli pystyä tukemaan yhteensä kuuden painokoneen paperitäydennysten kuljetusta ja toimitusta. AGV-järjestelmän tuli pystyä tukemaan paperitäydennyksiä myös kahdelle uudelle painokoneelle jatkossa. Simuloinnin avulla pystyttiin osoittamaan robustiutta sekä joustavuutta esitetyille AGV-järjestelmälle ja mahdollistamaan AGV-järjestelmän toteutus. (Muller, Cardinal, & Baumbach, 2002).

Hossain, Ali, Jamil ja Haq (2010) suunnittelivat ja rakensivat tutkimuksessaan kustannustehokkaan kahden laitteen AGV-järjestelmän. Laitteiden tehtävänä oli kuljettaa kuormaa paikasta toiseen. Tutkimus toteutettiin testaus-tuotantoympäristössä, joka mukaili todellista tuotantoympäristöä. Tutkimuksen perustana olivat kasvava AGV-laitteiden ja AGV-järjestelmien kehitys sekä kasvavat logistiikkatarpeet. Tutkimusten pohjalta todettiin suunnittelun ja toteutuksen haastavuus sekä AGV-laitteiden kevyt rakenne ja alhaiset nopeudet. Eteen tulleet haasteet ja ongelmat ovatkin ainakin yhtenä jatkotutkimuskohteenä, jossa tavoitteena on parantaa laitteiden toimintakykyä. (Hossain, Ali, Jamil, & Haq, 2010).

Eilers ja Rossman (2014) suunnittelivat virtuaaliodellisuuteen AGV-järjestelmän simulaation, jossa mallinnettiin todellista logistiikkalaitosta. Simuloitu logistiikkalaitos luotiin olemassa olevan logistiikkalaitoksen perusteella 3D-laserskannausta hyödyntäen. Tutkimuksen simulaatiototeutuksen pohjana oli tarve selvittää sekä kartoittaa logistiikkalaitoksen materiaalivirtojen tehokkuutta, joka nähtiin parhaaksi toteuttaa simuloimalla joukkoa AGV-laitteita todellista logistiikkaympäristöä muistuttavassa ympäristössä. Tutkimuksessa toteutetun simuloinnin perusteella todettiin, että on tarpeellista automatisoida kerätyn datan analysointi, jotta simulaatioon tehdyt muutoksia sekä suunnitelmia voidaan helpommin arvioida ja vertailla. (Eilers, & Rossman, 2014).

Wang ja Du (2016) suunnittelivat älykkään mobiilirobottitoteutuksen ulkoympäristöön. Tutkimuksessa tahtotilana oli toteuttaa ulkotilan tuntemattomista tekijöistä riippumaton vakaasti sekä tarkasti liikkuva autonominen ja älykäs mobiilirobotti. Lisäksi mobiilirobottiin voitiin ottaa yhteys mobiililaitteella, kuten puhelimella, josta mobiilirobottia pystyttiin ohjaamaan antamalla käskyjä sekä tarkastelemaan sen tilaa ja sijaintia. Mobiilirobotin ohjausjärjestelmään sovellettiin yhdistelmää SMC-menetelmästä sekä hermoverkoista, joiden avulla saatiin karsittua suurin osa mobiilirobotin navigointivirheistä sijainnin jäljitykseen liittyen. (Wang, & Du, 2016).

Bačík et al. (2017) suunnittelivat ja testasivat Pathfinder-mobiilirobottia sairaalakäytössä. Mobiilirobotin tehtävänä oli lääketarvikkeiden kuljettaminen sairaalaympäristössä, jossa liikkui myös paljon ihmisiä. Mobiilirobotin pääasialliset reitit olivat sairaalan varastosta yläkerran päärakennukseen sekä useille eri klinikoille ympäri kyseistä sairaalaa. Lääketarvikkeiden kuljetusta varten mobiilirobotin päälle oli sijoitettu lukolla varustettu hyllykkö sekä lähtöpainike. Pathfinder-mobiilirobotin sairaalaympäristön kokeilun jälkeen todettiin laitteen olevan kykenevä navigoimaan, suunnittelemaan reittinsä sekä saavuttamaan tavoitesijaintinsa törmäämättä esteisiin tai ihmisiin. (Bačík et al., 2017).

Nielsen, Dang, Bocewicz ja Banaszak (2017) suunnittelivat mobiilirobottikonseptin pilvipohjaiseen tuotantoympäristöön (cloud-based manufacturing environment), joka on mukautuva tuotantoympäristö. Tutkimuksen tarve syntyi teknologiakehityksen viimeaikaisesta nopeasta kasvusta sekä tarpeesta kehittää sekä päivittää tuotantoympäristöjä käyttäen apuna näitä uusia teknologioita. Tutkimuksessa esitettiin metodologia autonomiselle mobiilirobottitoteutukselle, jossa painotettiin mobiilirobottiteknologiaa, suunnittelua, aikataulutusta sekä kommunikaatiota. Tutkimuksessa esitettiin Little Helper -mobiilirobottiprototyyppi sekä sille soveltuva toteutus tuotantoympäristössä. Tutkimuksessa esitetyn metodologian tehokkuutta pystyttiin todentamaan todellisen tuotantoympäristön demonstraatiolla. Tutkimuksessa todettiin mobiilirobottien vähentävän seisonta-aikoja, kasvattavan tuotannon tehokkuutta sekä sopeutuvan hyvin mukautuvaan tuotantoympäristöön. Jatkotutkimuskohteita olivat monimuotoisemmat tehtävät

mobiilirobotille, mobiilirobottilaivueen hallinta- ja ohjaustyökalun huomioon ottaminen sekä kehittyneemmän kommunikaatiojärjestelmän toteutus mobiilirobottien ja tuotannon järjestelmien välille. (Nielsen, Dang, Bocewicz, & Banaszak, 2017).

Kamoshida ja Kazama (2017) totesivat keräilyn olevan hyvin suuri yksittäinen toiminta useimmissa varastoissa. Kyseisessä tutkimuksessa kehitettiin syvään vahvistusoppimiseen perustuva reitinsuunnittelumenetelmä keräilyjärjestelmälle, joka toteutti keräilyhyllysten kuljettamisen sekä siirtelyn mobiilirobottien avulla. Näin ollen mobiilirobotti kuljetti ajan säästämiseksi materiaalit hyllyissä keräilijöille, eikä keräilijöiden tarvinnut itse kulkea keräilyhyllylle. Tutkimuksessa painotettiin vahvasti reitinsuunnittelun tärkeyttä sekä samassa tilassa toimivien useiden mobiilirobottien tehokkaan ohjaamisen ja hallinnoinnin tarvetta. Tutkimuksessa simuloitiin käyttötarkoitukseen suunnitellulla ohjelmalla mobiilirobottien toimintaa oikeaa varastotilaa jäljittelevässä ympäristössä, jotta voitiin arvioida tutkimuksessa esitetty menetelmä mobiilirobottiavusteisesta keräilyjärjestelmästä simuloinnista saatujen tulosten perusteella. (Kamoshida, & Kazama, 2017).

Sabattini ja muut (2018) ehdottivat useita parannuksia erityisesti AGV-järjestelmien sensorteekniikkaan sekä navigointiin PAN-Robots (Plug and Navigate) projektissaan. Tutkimuksessa tarkasteltavaksi otettu AGV-järjestelmä kuljetti pääsääntöisesti kuormalavoja automaattivarastossa. Projektin tavoitteena oli pääasiassa tuotantologistiikan autonomisuuden sekä tehokkuuden kasvattaminen ympäristöissä, joissa työskentelee sekä ihmisiä että AGV-laitteita. Tutkimuksen toteutukseen johti havaittu logistiikan vähäinen automaatioaste yleisellä tasolla, jonka perusteella kyseistä projektia lähdettiin kehittämään. Tutkimuksen tuloksena havaittiin parannusten johtavan AGV-laitteiden kehittyneeseen havainnointikykyyn. Tutkimuksessa havaittiin myös uusien sensorteekniikoiden tuoma lisävaatimus riittävän valaistuksen tasoon laitteiden ympäristössä. (Sabattini ja muut, 2018).

Li, Yan ja Li (2018) pitivät älykästä logistiikkaa yhtenä tärkeimpänä kehityskohteena uuden aikaisessa logistiikkateollisuudessa. Tutkimuksen tarkoituksena oli toimia suuntaa

antavana ohjeena mobiilirobottien kehitykselle ja kehityskohteille, etenkin Kiinassa. Kyseisessä tutkimuksessa todettiin kehityksen kannalta avainasemassa olevan mobiilirobottiväestöisen logistiikan älykkyyden lisääminen, yksinkertaistaminen sekä mukavuus ja innovointi. Näihin tekijöihin tulisi panostaa, jotta pystyttäisiin saavuttamaan mobiilirobottiikan korkea älykkyyden ja autonomisuuden taso tulevaisuudessa. (Li, Yan, & Li, 2018).

Gao, Xin, Cheng, Liu ja Li (2018) suunnittelivat nopean, usean mobiilirobotin autonomisen navigointijärjestelmän kasvavien logistiikkatarpeiden sekä älykkään logistiikan tueksi. Reitinvalinta toteutettiin yhdistämällä ARA*:n avulla toteutettu globaali reitinvalinta sekä DWA:n (Dynamic Window Approach) avulla toteutettu lokaali reitinvalinta. Lisäksi käytettiin nopeudensäädön ohjainta, jonka avulla mobiilirobotit pystyivät nousemaan kaltevia tasoja säätäen nopeuttaan riippuen nousun kaltevuuskulmasta. Kyseisessä tutkimuksessa suoritettiin TutleBot2-laitteilla kolme erillistä mobiilirobottien navigointikokeilua, joista kaksi olivat haastavissa sisäympäristöissä ja kolmas ulkoympäristössä. Tehtävinä sisätiloissa mobiiliroboteilla olivat lajittelutehtävät sekä materiaalin kuljetus pisteiden välillä ja ulkotiloissa pelkästään materiaalin kuljetus pisteiden välillä. Tutkimuksen tuloksien perusteella selvisi, että uusi suunniteltu autonominen navigointijärjestelmä kykeni väistämään eteen tulleet esteet sekä saavuttamaan tavoitesijaintinsa autonomisesti. Tämän perusteella voitiin todeta mobiilirobottien kasvattavan materiaalin kuljetuksen sekä logistiikan älykkyyttä ja tehokkuutta entisestään. (Gao, Xin, Cheng, Liu, & Li, 2018).

Arana, Hafez, Joerger ja Spenko (2019) toteuttivat mobiiliroboteille simulaation, jonka tavoitteena oli kerätä informaatiota lokalisoinnin turvallisuuteen liittyen. Simulaatiossa ei eritelty todettujen laitevikojen luonnetta tai muotoa. Simulaation tueksi tehtiin myös kokeellinen kartta EKF-SLAM -algoritmillä, jonka avulla voitiin yhdistää mobiilirobotin eri sensoreilta saatua informaatiota. Kyseinen tutkimus oli ensimmäinen toteutettu lokalisoinnin varmuuteen liittyvä riskien arvioinnin metodologia. Tutkimuksessa saatujen tulosten pohjalta todettiin, että jatkossa kannalta on tarpeellista laajentaa kyseistä metodologiaa myös kuvaajien optimointitekniikoihin. (Arana, Hafez, Joerger, & Spenko, 2019).

3 Mobiilirobottien kartoitus

Tässä luvussa kartoitetaan eri valmistajien mobiilirobottien ominaisuuksia, vaatimuksia ja rajoituksia, näin mahdollistaen laitteiden välisen vertailun. Jokaista laitevalmistajaa käsittelevän luvun lopussa on taulukko kyseisen laiteperheen ominaisuuksista mallikohdittaisesti valmistajien välisen vertailun tueksi. Lisäksi tähän lukuun on sisällytetty laitteille suoritettut kokeilujaksot testiympäristössä ja niistä saadut lisätiedot käyttöönotosta, käytettävyydestä ja muista ominaisuuksista. Luvussa 3.6 esitetään arviointiperusteet-taulukko laitteiden väliselle vertailulle, jonka perusteella sopivimman mobiilirobotin valinta voidaan perustella. Vertailu perustuu ominaisuuksien ja kriteerien arviointiin, joihin lisätään luvussa 5.2 laitteiden soveltuvuus käyttökohteittain kohdeyrityksen logistiikkatarpeiden mukaan.

3.1 Omron laiteperhe

Omron Corporation on vuonna 1933 perustettu maailmanluokan johtava automaatioalan yritys, jonka pääkonttori sijaitsee Japanin Kiotossa. Yhtiöllä on yli 36 000 työntekijää 117:ssä eri maassa ja yritystä johtaa puheenjohtaja Yoshihito Yamada. Omron Corporation kehittää ja valmistaa mobiilirobottien lisäksi tuotteita myös teollisuusautomaatioon, elektroniikkateollisuuteen sekä terveydenhuoltoon. Yksi Omron Corporationin pääarvoista on ympäristöystävällisyys, joka näkyy laajalti yrityksen toiminnassa. (Omron Corporation, 2019c).

Omron-laiteperhe pitää sisällään seitsemän eri mallivaihtoehtoa: LD-60, LD-90, LD-250, LD-105CT, LD-130CT sekä LD-60- ja LD-90 -pohjaiset ESD-mallit. ESD-malleja eli sähköstaattisen purkauksen estäviä malleja ei ole erikseen listattu yhteenvetotaulukossa (ks. taulukko 2), sillä niiden ominaisuudet eivät muuten eroa LD-60- ja LD-90 -malleista. LD-sarjan mallit pystyvät mallin nimen mukaisesti kantamaan numerosarjan mukaisen kuorman. Tämän sarjan uusin malli on kokoluokaltaan tähän mennessä suurin, 250 kg kuorman kuljettava LD-250. LD-60, LD-90, LD-105CT ja LD-130CT perustuvat kaikki samaan

runkopohjaan sillä erolla, että CT-päätteiset erikoismallit ovat pääasiassa kärrykuljettimia. LD-60 ja LD-90 mallit taas kuljettavat pääasiassa laatikoita, kuten esim. muovilaatikoita. CT-päätteisten erikoismallien kantokykyyn ei sisälly kärryn paino vaan ainoastaan kuorman paino. Kaikilla näillä Omronin-mobiiliroboteilla on CE-merkintä. (Omron Corporation, 2019d).

Kaikille Omronin mobiilirobottimalleille yhteistä on laser-, ultraääni- ja sensoripohjainen navigointi sekä MobilePlanner suunnittelu- ja ohjaustyökalun ja Fleet Managerin käyttö, joita käsitellään tarkemmin seuraavissa luvuissa (Omron Corporation 2019b). Paketteja on valittavissa mallikohtaisesti useita erilaisia, riippuen lisävarustetarpeesta ja laitteen käyttötarkoituksesta. Mahdollisia lisävarusteita Omronin laitteisiin ovat esim. manuaaliohjaukseen käytettävä sauvaohjain, kutsunappi, kosketusnäyttö, kansilevy tai navigoinnin lisätarkkuutta kattolamppujen perusteella tuova Acuity-lisäosa. Omronin mobiilirobottien tuoteselosteessa listataan ja mainitaan useita eri ominaisuuksia sekä rajoitteita, joista vertailun kannalta olennaisimmat ovat listattuna alla olevassa taulukossa (ks. taulukko 2). (Omron Corporation, 2019d).

Taulukko 2. Omron-laiteperheen ominaisuudet mallikohtaisesti, jotka perustuvat Omron-mobiilirobottien (Omron Corporation, 2019d) tuoteselosteeseen.

Erittely	Omron LD-60	Omron LD-105CT	Omron LD-90	Omron LD-130CT	Omron LD-250
Laatikko	Kyllä	Ei	Kyllä	Ei	Kyllä
Lava	Ei	Ei	Ei	Ei	Ei
Kärry	Ei	Kyllä	Ei	Kyllä	Ei
Mitat (mm)	699x500x383	699x500x383	699x500x383	699x500x383	963x718x383
Mitat lisäosan ¹ kanssa (mm)		894x1074x1394		894x1074x1394	
Paino (kg)	62	62	62	62	148
Paino lisäosan ¹ kanssa (kg)		81		81	
Maavara (mm)	-	-	-	-	-
Maksiminopeus (m/s)	1,8	1,35	1,35	0,9	1,2
Kantokyky (kg)	60	105	90	130	250
Nostokorkeus (mm)	-	-	-	-	-
Nostokorkeus lisäosalla ² (mm)	Vaihtelee	Vaihtelee	Vaihtelee	Vaihtelee	Vaihtelee
Akun kesto (h)	15	15	15	15	13
Akun latausnopeus (h)	4	4	4	4	4

¹Cart Transporter -lisävaruste ²Nosto-osa

3.1.1 MobilePlanner

Kokeilujakson aikana käytettiin MobilePlanner suunnittelu- ja ohjaustyökalua, joka on suunniteltu Omron-mobiilirobottien ohjaamiseen, opettamiseen sekä määrittelyyn. MobilePlanneria pystyi käyttämään joko ilman lisenssiä, jolloin käytössä oli vain rajatut toiminnallisuudet tai lisenssiavaimella, jolloin käyttäjän käytössä olivat kaikki hallintatyökalun toiminnallisuudet.

MobilePlanner-ohjelman avulla tehtiin seuraavia asioita:

- Muutettiin sekä tarkistettiin yhteydessä olevien mobiilirobottien konfiguraatioita sekä verkkoyhteyksasetuksia SetNetGo:n avulla.
- Skannattiin ympäristöä luoden uusia pohjapiirroksia, tarkasteltiin aiemmin luotuja pohjapiirroksia sekä siirrettiin pohjapiirroksia robotin ja hallintatyökalun välillä.
- Lisättiin pohjapiirrokseen erilaisia ominaisuuksia ja kohteita.
 - Lisättiin näihin kohteisiin toimintoja listasta sekä määriteltiin niihin liittyviä parametrejä.
 - Lisättiin toimintoihin viiveitä sekä luotiin ja muokattiin makroja.
- Luotiin mobiilirobotille kulkuväyliä ja -suuntia.
- Ohjattiin mobiilirobottien toimintaa tai käynnistettiin yksittäisiä tehtäviä, reittejä tai komentoja.
- Tarkkailtiin mobiilirobottien nykyistä tilaa, sijaintia, toimintoja sekä sensorihavaintoja.
- Mahdollisuuksia oli myös töiden, työjonojen tai aikataulujen lisäämiseen Fleet Managerin avulla, mutta sitä ei kokeilujakson aikana testattu. Tästä lisää luvussa 3.1.2.

Skannauksen aikana mobiilirobottia ohjattiin ulkoisen sauvaohjaimen avulla, jolloin sitä voitiin kävelyttää ihmisavusteisesti sensoreiden havainnoissa kohdeympäristöä. Pohjapiirros (ks. kuva 1) luotiin näiden sensorihavaintojen perusteella ja skannauksen loputtua MobilePlanner käsitteli kyseisen pohjapiirroksen ohjelmallisesti. Käsittelyn aikana pohjapiirroksista poistuivat skannauksen aikana liikkuneet objektit tai ihmiset sekä mahdolliset sensorien yliherkkyydestä tai muista syistä johtuneet havainnointivirheet. Halutessa pystyttiin myös kumittamaan pois pohjapiirrokseen piirrettyjä alueita tai objekteja manuaalisesti kumitustyökalulla. Tämän lisäksi pohjapiirroksiin voitiin lisätä useita eri ominaisuuksia tai rajoitteita alueiden, sektoreiden tai viivojen muodossa.

ratkaisua, joka julkaistiin vasta myöhemmin. Alla esitellään lyhyesti sekä Fleet Managerin (Enterprise Manager) että FLOW Core -ratkaisun toimintoja ja tarkoitusta.

Fleet Manager on suunniteltu mobiilirobottilaivueen ohjaamiseen ja työjonon hallintaan, joka vaatii Omronin Enterprise Manager -laitteiston asennuksen kohdeympäristöön. Kyseisen laitteiston uusin malli on tutkielman kirjoitushetkellä Enterprise Manager 2100. Ohjaamisen ja hallinnoinnin lisäksi Enterprise Manager -laitteisto hoitaa myös ulkoisten I/O-laitteiden, kuten kutsunappien kautta tulleet käskyt laivueelle. Lisäksi laitteiston avulla voidaan myös päivittää kaikkien yhteydessä olevien mobiilirobottien konfiguraatioiden sekä pohjapiirrosten muutokset samanaikaisesti. Enterprise Manager -laitteisto mahdollistaa jopa 100:n mobiilirobotin toiminnan ja ohjauksen samassa laivueessa sekä estää samassa tilassa toimivien mobiilirobottien törmäyksen keskenään varmistamalla yksittäisen mobiilirobotin tiedonsaannin toisista alueella liikkuvista laivueen jäsenistä. (Omron Corporation, 2019e).

Omronin Fleet Operations Workspace Core eli FLOW Core on jatkuvan kehityksen ja kumppaneiden kanssa läheisessä yhteistyössä kehitetty ohjelmistoratkaisu, jonka avulla voidaan hallinnoida mobiilirobottilaivueita ja tarkastella niiden toimintaa entistä tehokkaammin. MobilePlanner ohjaus- ja suunnittelutyökalu toimii valvontakeskuksena luvussa 3.1.1 mainittujen Fleet Managerin ja SetNetGo:n lisäksi myös FLOW Core -ohjelmistoratkaisulle. FLOW Core -ratkaisu myös helpottaa integraatiota olemassa oleviin järjestelmiin erilaisten API:en eli ohjelmointirajapintojen, kuten REST, SQL ja MQ avulla. (Omron Corporation, 2019f).

3.1.3 Kokeilujakso testiympäristössä

Omron LD-60 mobiilirobotti saatiin koekäyttöön yhden viikon ajaksi ja tarkoituksena oli kerätä tietoa laitteen toiminnasta ja ominaisuuksista sekä esitellä sitä kokeilujakson jälkeen perhepäivässä. Perhepäivä (ks. kuva 2) järjestettiin tuotantotiloissa, jossa mobiilirobotti kulki ihmisten joukossa. Omron järjesti ensimmäisenä päivänä koulutuksen

mobiilirobotin käytöstä sekä MobilePlanner suunnittelu- ja ohjaustyökalun käytöstä. Lisenssiavaimen avulla pystyttiin käyttämään MobilePlanner-ohjelman kaikkia ominaisuuksia. Tämän jälkeen tehtiin järjestelyt ja valmistelut testiympäristön kokeilujaksoa varten. Alkuun luotiin yhteys mobiilirobottiin Ethernet-kaapelin kautta lokaalisti, jonka kautta päästiin verkkoyhteyden asetuksiin käsiksi. Mobiilirobotti saatiin MobilePlanner-ohjelman määrittelyohjeita seuraten onnistuneesti yhdistettyä langattomaan sisäverkkoon, jota hyödynnettiin koko kokeilujakson ajan. Langaton verkkoyhteys helpotti mobiilirobotin asetusten muuttamista, käskyttämistä ja testialueen suunnittelemista.



Kuva 2. Omron LD-60 mobiilirobotille askarreltiin kasvot ja se jakoi karkkia kohdeyrityksen tehtaan perhepäivässä.

Seuraavaksi luotiin MobilePlanneriin käyttäjätunnukset, joiden avulla yhdistettiin langattomasti mobiilirobottiin. Luotiin lisäksi myös alueen pohjapiirros kävelyttämällä mobiilirobotia testiympäristössä. Pohjapiirroksen (ks. kuva 1) skannaukseen sekä haluttujen ominaisuuksien ja kohteiden lisäämiseen kului n. 30 minuuttia. Käytetty aika voi kuitenkin vaihdella suurestikin riippuen halutuista ominaisuuksista ja muutoksista karttaan.

Pohjapiirroksen luominen ja muokkaaminen MobilePlanner-ohjaustyökalulla oli yksinkertaista ja helppoa ja sen avulla sai hyvin rajattua robotin kulkualetta sekä määriteltyä haluttuja kulkuväyliä, kulkusuuntia sekä painoarvoltaan kalliimpia alueita tai viivoja. Taphtumien, reittien, makrojen ja parametrien suunnittelu sekä määrittely oli monimutkaisempaa ja enemmän aikaa vievää, mutta muutosmahdollisuuksia oli suuri määrä. Reittien määrittelyyn kuluikin lähes sama aika kuin pohjapiirroksen luomiseen.

Pohjapiirroksen (ks. kuva 1) päälle luotiin tavoitemaalit A ja B sekä tauko-, koti- ja latauspaikka. Mobiilirobotti navigoi sensorivusteisesti latauspaikalle lataamaan tarpeen mukaan. Testitilanne suunniteltiin viikon päätteeksi järjestettävän perhepäivän käyttötarve mielessä pitäen. Tästä syystä mobiilirobotti kertoi ennen liikkeelle lähtöä synteettisellä äänellä lähtevänsä kohteeseen, johon yhdistettiin kolmen sekunnin lähtöviive. Kotipaikalta liikkeelle lähtiessä se antoi ympäristölleen ilmoituksen sekä odotti edessä olevan neliömetrin kokoisen alueen tyhjenemistä. Suunnitellun mukaisesti mobiilirobotti odotti, kunnes edessä olevat esteet siirtyivät, jonka jälkeen se lähti jatkamaan sille suunniteltua reittiä. Tässä tapauksessa sen haluttiin kulkevan toistuvasti maalin A ja maalin B väliä makrontoistoa hyödyntäen odottaen edessä olevan tilan vapautumista molempiin maaileihin saapuessaan. Tähän tilalle olisi voitu sijoittaa mikä vain tehtävä tai reitti, mutta perhepäivälle toivottiin mobiilirobotin pysähtyvän valituissa pisteissä odottaen etualueen tyhjenemistä ihmisistä. Testitilanteessa mobiilirobotti kutsuttiin kesken makron toiston takaisin kotipaikalle, josta se lähti jatkamaan taas matkaa heti tilan saatuaan. Mikäli sitä käskettiin manuaalisesti navigoimaan johonkin pisteeseen, siirtyi se hetken kuluttua lähimmälle parkkipaikaksi merkitylle maalille.

Näillä testeillä simuloitiin esim. tilannetta, jossa robotin tulisi noutaa tarvikkeita ja tuoda ne käskystä halutulle paikalle sekä odottaa lupaa tai tilaa lähteä. Tavoitemaalit voisivat toimia myös eräänlaisina päätepisteinä, jossa robotti lastataan halutulla tavaralla kuljetusta varten. Kuljetus toimitettaisiin seuraavalle pisteelle kuljetettavan tavarankuljetusta varten, josta luvan tai tilan saatuaan mobiilirobotti jatkaisi matkaansa hakemaan lisää

tavaraa. Päätepisteiden toimintojen määrittämiseen oli useita vaihtoehtoja, joista parhaaksi tähän tilanteeseen todettiin loputon odotus etutilan tyhjenemiseksi.

WLAN-yhteys reitittimestä mobiilirobottiin oli kohtalainen ja yhteyden laatu tippui yhden tai kahden palkin verran laitteiden välisen etäisyyden ollessa yli 30 metriä. Käytännössä kantama-alueita ja niiden heikkouksia testattaisiin hyvinkin paljon kuuluvuusalueen parantamiseksi ja signaalin vahvistimia asetettaisiin kuuluvuuden kannalta heikompisiin sijainteihin. Testitilanteessa käytössä oli kuitenkin vain yksi langaton reititin, joka sijoitettiin mobiilirobotin kotipaikalle. Mobiilirobotin maksiminopeus oli säädetty asetuksesta 1000 mm/s, joka oli jonkin verran alle laitteen todellisen maksiminopeuden.

Mobiilirobottia pystyi seuraamaan MobilePlannerin avulla reaaliajassa sen liikkuesssa, sekä sitä pystyi myös ohjaamaan ohjaustyökalusta käsin. Muutoksia pystyi tekemään tarvittaessa sekä tallentamaan sen suoraan laitteelle langattoman verkon välityksellä. Lisäksi mobiilirobotin sensoreiden havaitessa liikkuvia objekteja tai muita esteitä, kuten ihmisiä voitiin myös näitä tarkastella reaaliajassa päivittyvältä näkymältä. Myös reittivalinta päivittyi dynaamisesti ja oli näkyvissä käyttäjälle pienen viiveen jälkeen esim. maailta toiselle navigoidessa tai mobiilirobotin saadessa uuden tehtävän tai reitin. MobilePlanner-ohjelmasta näki myös valitun mobiilirobotin statuksen sekä tilan (esim. Status = Parking, Mode = Goal Seeking).

Tiukoissa mutkissa, käänöksissä, esteiden ilmetessä tai epätasaisella pinnalla mobiilirobotti hidasteli ja teki nykiviä liikkeitä. Osa näistä liikkeistä saattoi johtua puutteellisesta pohjapiirroksen laatimisesta tai lokalisaatioon liittyvistä ongelmista tietyillä alueilla, joissa sitä tapahtui usein. Suoralla käytävällä robotti kiihtyi halutulla tavalla ja saavuttikin pian täyden nopeuden, hidastaen juuri ennen maalia, käännöstä tai hidastusalueetta. Robotti vaikutti muuten hyvin ketterältä: se pyöri paikallaan käskettäessä haluttuun kulmaan tai kokonaisia kierroksia ympäri sekä navigoi sujuvasti pohjapiirroksen merkittyjen rajoitteiden ja kieltojen mukaisesti. Mikäli karttaa vaihtaessa tai robottia manuaalisesti siirrettäessä robotti ei heti hahmottanut mihin se oli sijoitettu, pystyttiin se

muutamalla näppäinpainalluksella MobilePlanner-ohjelmalla sijoittamaan taas kohdalleen. Mobiilirobotin hukatessa sijaintinsa se ilmoitti tästä selkeästi ohjaustyökalulle sekä laitteen takaosassa sijaitsevalla näytöllä.

Turvallisuuskulmasta laitetta tarkastellessa todettiin, että mobiilirobotti pysähtyi useasta eri kulmasta tulleiden esteiden kohdalla sekä kulkiessaan liian lähellä esineitä esim. kääntyessään. Pääasiassa se vaikutti kuitenkin pyrkivän valitsemaan reitin, jolla ei pysähtymisiä tulisi sekä dynaamisesti määrittelemään reittiään. Tuotantoympäristössä tulee olemaan liikkuvia esteitä, kuten trukkeja, ihmisiä sekä muita laitteita, joten mobiilirobotin pyrkimys kiertää eteen tulleet esteet sujuvasti sekä turvallisesti on tärkeää. Häätäseis-jarru aktivoitui kuitenkin lähes heti, jos väistäminen ei onnistunutkaan ja pienen viiveen jälkeen pysähdyksestä se laski uuden reitin ja jatkoi taas matkaansa. Langaton verkkoyhteys mobiilirobottiin katkesi muutama otteeseen kokeilujakson aikana sen liikkua alueella, jolloin kaikki yhteydet ohjaustyökalusta mobiilirobottiin sammuivat. MobilePlanner-ohjelma oli muuten vakaa eikä ylimääräisiä virheviestejä ilmestynyt. Tarkempi ominaisuuksien, käytettävyyden, toimintavarmuuden ja integroinnin läpikäynti suoritetaan laitekohtaisesti luvussa 3.6.

3.2 AGILOX IGV

AGILOX Systems GmbH on itävaltalainen ohjelmisto- ja tuotantologistiikka-alan yritys, jonka perustajia ovat yrityksen toimitusjohtajat Franz Humer sekä Dirk Erlacher. Yritys perustettiin vuonna 2009 nimellä INTREST OG Itävallan Linz:ssä ja ensimmäiset Agilox-laitteet pääsivät kenttäkokeiluun vuonna 2016 kahden vuoden kehityksen jälkeen. Vuonna 2011 muodostui INTREST Services GmbH sekä INTREST Software GmbH, jotka alkuvuodesta 2017 nimettiin AGILOX Services GmbH sekä AGILOX Systems GmbH. AGILOX-laitteita oli 2018 vuoden loppuun mennessä ympäri maailman käytössä jo lähes 100 laitetta. Nykyään kyseistä laitetta on käytössä jo 15:sta eri maassa eri puolilla maailmaa. Agilox ei ole kooltaan kovin suuri yritys verrattaessa esim. Omron Corporationiin. Työntekijöitä Agiloxilla on 45 ja he uskovat määrän kasvavan voimakkaasti tulevina vuosina.

Agiloxilla on yhteistyökumppaneita ympäri maailmaa maissa, kuten Pohjois-Amerikassa, Kiinassa ja Sveitsissä. Suomessa Agiloxin edustajana toimii Orimattilassa sijaitseva Posicraft Oy, toimitusjohtajanaan Seppo Kirmanen. (AGILOX Systems GmbH, 2019b).



Kuva 3. AGILOX IGV -laitteen esittelytilaisuus Teknologia 19 -messuilla Helsingin Messukeskuksessa, Posicraft Oy:n messuosastolla.

Agiloxilla on saatavilla tähän mennessä vain yksi laite (ks. kuva 3), josta käytetään nimeä AGILOX IGV. Laite kuljettaa pääasiassa lavoja (esim. eurolavoja), mutta kykenee laatikkonostimen (Box Carrier) avulla nostamaan myös useita laatikoita (esim. muovilaatikoita). Laatikkonostin-moduuli on rakennettu lavapohjaan, joten se sopii suoraan laitteen haarakoihin. Laite hakee laatikkonostin-moduulin osana työjonoa tarvittaessa, eikä sitä tarvitse asentaa erikseen kiinni. AGILOX-laitteiden tueksi on saatavilla myös AGILOX IO -moduuli, jonka avulla AGILOX-laitteet voivat avata ovia tai kytkeytyä useisiin erilaisiin I/O-laitteisiin. Kehittyneen teknologian, dynaamisen reitinvalinnan sekä muuttuvan tuotantoympäristön vuoksi laite soveltuu paremmin tuotannon tueksi kuin puhtaasti logistiikan tueksi. AGILOX IGV -laitteella on CE-merkintä. (AGILOX Systems GmbH, 2019a).

AGILOX-laitteiden suurena kilpailuetuna muihin valmistajiin nähden ovat sen neljä identtistä, symmetrisesti aseteltua ajoyksikköä, jotka pyörivät ympäri tai liikkuvat mihin tahansa suuntaan laitteen ollessa täysin paikallaan (AGILOX Systems GmbH, 2019a). Vaikka AGILOX-laitteen perusmalleja on vain yksi, on siitä saatavilla sekä 1-saksinen (Single Scissor) että 2-saksinen (Double Scissor), joiden suurimpana erona on kuorman nostokorkeus (AGILOX Systems GmbH, 2019a). Nostokorkeuksien ero voidaan havaita myös seuraavasta taulukosta (ks. taulukko 3), jossa on esitetty AGILOX IGV -laitteen tutkielman kannalta olennaisimmat ominaisuudet.

Taulukko 3. AGILOX IGV -laitteen ominaisuudet, jotka perustuvat Agiloxin (AGILOX Systems GmbH, 2019a) esittelysivuun.

Erittely	AGILOX IGV
Laatikko ¹	Kyllä
Lava	Kyllä
Kärry ²	Kyllä
Mitat (mm)	1510x800x1850
Paino (kg)	380
Maavara (mm)	5
Maksiminopeus (m/s)	1,4
Kantokyky lavoille (kg)	1000
Kantokyky per laatikko ¹ (kg)	50
Nostokorkeus ³ (mm)	500 / 1000
Akun kesto ⁴ (h)	4 - 5
Akun latausnopeus ⁴ (h)	0,25

¹Box Carrier ²Rullakko max. 1600x1200 mm ³1-/2-saksinen ⁴4-5h lataus 15 minuutissa

3.2.1 Kokeilujakso testiympäristössä

AGILOX IGV saatiin kahden viikon kokeilujaksoon, jonka tarkoituksena oli kerätä tietoa laitteen ominaisuuksista, käyttöönotosta sekä rajapinnoista. Agiloxin maahantuoja Suomessa, Posicraft Oy järjesti koulutuksen kahtena ensimmäisenä päivänä kokeilujaksoa. Koulutuksen aikana käytiin läpi laitteen käyttöönotto ja valmistelut, unionin luominen, verkkoyhteyden muodostaminen, pohjapiirroksen (ks. kuva 4) skannaus, luominen sekä muokkaus. Pohjapiirroksen muokkaus tapahtui pääasiassa kouluttajan suositteleman Inkscape-ohjelman avulla, jonka lisäksi muutoksia pystyttiin tekemään myös laitteen verkkokäyttöliittymän avulla. Koulutuksen teemana olivat myös käyttöliittymän läpikäynti, laitteen manuaalinen ohjaaminen, lisäys ja poisto työjonosta, virheloki, latauspisteen järjestelyt sekä dokumentaatio. Dokumentaatio oli saatavilla laitteen mukana paperimuodossa sekä verkkokäyttöliittymässä sähköisessä muodossa indeksoituna. Käyttöliittymää pystyttiin käyttämään millä vain käyttöjärjestelmällä tai laitteella, jossa oli verkkoyhteys.

Kokeilujakson aikana käytössä olivat sekä älypuhelin että kannettava tietokone. Käytössä oleva AGILOX IGV oli 1-saksinen malli ilman lisävarusteita, esim. laatikkokuljetinta (Box Carrier) ei ollut saatavilla kokeilujaksoa varten. Näin ollen kokeilujakson aikana nostettiin vain hyväkuntoisia standardi eurolavoja. Laitteen tilaa saatiin muutettua avainta kääntämällä saatavilla oleviin huolto-, manuaali- sekä automaattitilaan. Tilaa vaihdettaessa täytyi painaa Start-nappia laitteen yläosasta sekä käynnistyksen tai ongelman yhteydessä painaa Acknowledge-nappia. Laite ei lähtenyt liikkeelle ennen kuin molempien em. nappien valot olivat sammuneet painalluksen jälkeen. Huomioitavaa laitteen akunhallinnasta oli sen siirtyminen lähimmälle parkkipaikalle tai latauspaikalle tai parkkiin latauspaikalle laitteen ollessa automaattitilassa sekä työjonon ollessa tyhjä.



Kuva 4. Agilox IGV:lle luotu pohjapiirros kokeilujakson alkuvaihetta varten, josta nähdään skannausdatan ääriiviivat sekä lisätyt alueet (selitteet alla).

Maintenance- eli huoltotilassa laite lähetti langatonta kuuluvuusaluetta, johon pystyttiin yhdistämään halutulla laitteella. Näin saatiin yhteys laitteeseen langattoman verkkoyhteyden konfigurointia varten ja yhteyden saatua laite voitiin asettaa manuaalitilaan pohjapiirroksen luomista varten. Ensin skannattiin laitetta ympäröivä alue sen ollessa paikallaan halutussa asennossa (single teach), mieluiten suorassa kulmassa. Seuraavaksi ajettiin automaattisella opetuksella (auto teach) haluttujen alueiden läpi, jonka perusteella laitteen lakipisteessä sijaitseva 360°:een skanneri loi pohjapiirroksen. Pohjapiirrosta (ks. kuva 4) muokattiin halutulla tavalla Inkscape-ohjelmalla ja siihen lisättiin staattisia pisteitä kuten tolppia (musta), seiniä (harmaa), kiellettyjä alueita (harmaa) sekä tehtäväalueita (keltainen).

Laitteen navigoiman alueen pohjapiirros oli usealla tasolla (blocked, general, contour ja station). Värikoodit alueille sekä tasokohtaiset määrittelyt tehtiin ohjeiden mukaisesti, jotta AGILOX IGV:n verkkokäyttöliittymä lukee tasot ja alueet oikein. Pohjapiirros voitiin ladata muokkausta varten mille vain laitteelle tai siirtää valmis pohjapiirros muokkauksiin takaisin laitteelle. Skannausdatasta voitiin poistaa haluttuja alueita tai pisteitä, kuten ylimääräiset yli 180 cm korkuiset esineet tai objektit skannauksen aikana, jotka jäivät näkyviin. Pohjapiirroksen pystyttiin lisäämään asemia, alueita, välietappeja sekä määrittellä latauspiste laitteen sijainnin perusteella manuaalisesti tai verkkokäyttöliittymän avulla määrittelemällä sijainnin x-y-koordinaatit ja kulman suuruus. Lisäksi verkkokäyttöliittymällä pystyttiin toteuttamaan asemien, alueiden ja välietappien määrittelyt sekä muutokset tarvittaessa. Määrittelyjen ja opetuksen jälkeen laite voitiin asettaa manuaalitalasta automaattitilaan. Automaattitilassa laitetta ei pystytty enää ohjaamaan vaan kyseistä toimintoa varten laite täytyi asettaa takaisin manuaalitilaan.

Testiympäristöä rajoitettiin visuaalisilla porttiesteillä ja IGV:n kulkuväylä sallittiin vain muutamalle käytävälle (ks. kuva 4), jonka lisäksi käytävien risteysalueille asetettiin turvallisuussyistä hidastussektoreita sekä pohjapiirroksen asetettiin alkuun muutama asema sekä yksi alue. AGILOX IGV käskytettiin siirtelemään eurolavoja asemilta toisille, alueilta asemille sekä asemilta asemille. Käskyn keskeytyessä kesken siirron laitteelle

pystyttiin asettamaan tehtäväksi myös lavan jättö sen hetkisestä sijainnista halutulle asemalle tai alueelle. Tämän lisäksi suunniteltiin Agiloxin yhteyshenkilön avustamana etäyhteyden avulla kahden välietapin reitti asetetulle latauspisteelle. Alueella IGV vei kuorman kohdealueella sijaitsevaan ensimmäiseen tyhjään asemaan tai nouti kuorman ensimmäiseltä kuorman sisältävältä asemalta alueella. Jos tavoitemaaliksi taas määriteltiin vain yksi asema, nouti tai vei IGV kuorman suoraan asemalta tai asemalle. IGV tunnisti etusensorien avulla aseman havaitessaan aseman sen hetkisen tilan (occupation), joka pysyi olemaan tyhjä, varattu tai virheellinen. Virheellinen tila syntyi esim. kuorman ollessa liian kaukana, liian paljon vinossa tai muulla tavoin laitteen saavuttamattomissa.

Kokeilujakson aikana AGILOX IGV liikkui aina muulloin etupää edellä, paitsi kuormaa asemalta noutaessaan tai kuormaa asemalle tuodessaan, kuten trukkien turvallisuussyistä kuuluukin. Laite myös kiersi sen eteen tulleet esteet ne havaitessaan, mikäli mahdollista sekä dynaamisesti määritteli reittinsä uudelleen näissä tilanteissa. Esim. kaksi ihmistä ilmestyi laitteen eteen, jolloin esteiden kiertäminen ei ollut mahdollista ja tällöin laite määritteli reittinsä uudelleen käyttäen toista vapaan olevaa käytävää. Tilanteessa, jossa laite havaitsi jo asemalle saapuessaan tulevia esteitä käytävällä, kääntyi se suoraan ympäri asemalta lähtiessään, lähtemättä edes yrittämään navigointia hetkellisesti estetylle käytävälle.

Laite myös vältti pitkäaikaista kulkua liian lähellä seiniä tai esteitä ja pysähtyi täysin tai hidasti liikkumisnopeuttaan (käännyttäessä kulmanopeuttaan) näissä tilanteissa. Verkkoyhteyden menettäessään AGILOX IGV:n tulisi hidastaa nopeutensa turvanopeuteen välttääkseen törmäyksen muiden AGILOX-yksiköiden tai ihmisten kanssa. Kokeilujakson aikana ei kuitenkaan onnistuttu menettämään langatonta verkkoyhteyttä kertaakaan. Kokeilujakson aikana laitteen eteen tultiin useaan kertaan sekä edestä, etupuolelta sivuilta sekä trukkipiikkien puolelta eri suunnista, jolloin laite pysähtyi joka kerta ja uudelleenmääritteli reittinsä sekä ilmoitti liikkumisen estymisestä (obstruction) tekstinä yläkannerissa.

Asemalle tai alueelle tullessaan tai niiden ohi kulkiessaan laite havaitsi asemien tilan ja suoritti sille annetun tehtävän ohjeiden mukaisesti. Kuormaa noutaessaan laite suuntasi haarukkansa eurolavan suuntaisesti sekä tarvittaessa teki korjausliikkeen sensorihavaintojen perusteella, mikäli lava poikkesi alun perin sille asetetusta asennosta. Laite asetti kuorman aseman määritysten mukaan tietylle syvyydelle haarukoihin sekä nosti sen halutulle korkeudelle kuljetusta varten. Kuljetuskorkeuden tuli olla yli 100 mm sillä muuten kuorma estäisi näkyvyyden etusensoreilta, jotka havaitsevat haarukoiden päistä laitteen takaosan. Kuorman kuljetuskorkeuden perusasetus oli oletuksena 150 mm, mikä oli sopiva lähes jokaiseen kuljetukseen testitilanteessa. Kuormaa ei muutamassa tapauksessa pystytty viemään tai laskemaan paikalleen, jos tila ei ollut riittävästi molemmin puolin lavaa (n. 10 cm). Asemien sijaintien määrittelyä pystyttiin kuitenkin muuttamaan, jolla etäisyydet lavojen välillä pystyttiin optimoimaan.

AGILOX IGV pystyi täysin ympäri pyörivien renkaidensa ansiosta liikkumaan ketterästi suoraan sivusuunnassa, viistosti johonkin suuntaan tai pyörimään keskipisteensä ympäri. Renkaiden kääntyessä laitteen ollessa paikallaan pysyi laite täysin liikkumattomana. Parkkipaikalla tai latauspisteellä ollessaan laite käänsi hetken päästä pysähtymisestä kaikki renkaat viistosti ulospäin lukkoon. Liikkuessaan ja kääntyessään laitteessa ei ollut havaittavissa juurikaan nykimistä vaan laite liikkui navigoidessaan lähes saumattomasti. Verkkokäyttöliittymän avulla pystyttiin tarkkailemaan mm. laitteen reittivalintaa, sijaintia, nopeutta, kulmanopeutta sekä asemien ja alueiden tilaa. Laitteen kanssa samaan WLAN-verkkoon yhdistetty kirjautumaton käyttäjä kykeni tarkastelemaan pelkästään laitteen sijaintia sekä yleisnäkyä. Kirjautunut käyttäjä taas pystyi käyttäjän tason mukaan määrittelemään asetuksia, käsittelemään työjonoja ja hallitsemaan laitteen liikettä joko manuaalisesti tai määrittelemällä sille tehtäviä. Verkkokäyttöliittymä oli täysin dynaaminen ja skaalautuva, joten sitä pystyi käyttämään verkkoselaimella puhelimella, tabletilla ja tietokoneella käyttöliittymästä riippumatta.

3.2.2 Rajapintatestaus kokeilujakson yhteydessä

Verkkokäyttöliittymästä pystyttiin kirjautuneena käyttäjänä tarkastelemaan annettujen tehtävien tilaa ja edistymistä sekä myös asettamaan uusia tehtäviä asemia ja alueita valitsemalla. Kyseinen tapa ohjata ja hallita AGILOX IGV:tä oli riittävä laitteen käsittelyyn ja toiminnan tarkasteluun, mutta haluttiin kuitenkin selvittää laitteessa saatavilla olevien avoimien rajapintojen mahdollisuuksia. Rajapintatestauksessa pyrittiin mallintamaan toteutuskelpoista ohjelmallista rajapintatoteutusta kohdeyrityksen MES-järjestelmän ja AGILOX IGV:n REST-rajapinnan väliin. Tavoitteena oli lähettää JSON-muotoisia pyyntöjä alkuun käyttäen API-suunnitteluun tarkoitettuja työkaluja, jonka jälkeen siirryttäisiin C#-ohjelmointikielisen toteutusdemon suunnitteluun ja toteutukseen Microsoft Visual Studio -ohjelmointiympäristössä. Kohdeyrityksen MES-järjestelmä on myös toteutettu C#-ohjelmointikielillä, joten tässä vaiheessa suunniteltua ja toteutettua demoa voitaisiin hyödyntää myös varsinaisessa soveltuvuusselvityksessä järjestelmien ja laitteiden integrointia ajatellen.

Työjonoja ja muita käskyjä pystyttiin lähettämään verkkokäyttöliittymän avulla käyttäjänä sisään kirjautuneena sekä suoraan pyyntönä laitteen REST-rajapintaan (käyttäjänä näkyy webservice) käyttäen esim. Postman-ohjelmaa. Muuten tehtävän asettajana näkyy joko tehtävän luoneen käyttäjän käyttäjätunnus tai sisäisesti luotu tehtävä (created internally), joka syntyy parkkipaikalle tai latauspisteelle navigoitaessa. Aluksi valittiin lähötasema tai -alue sekä kohdeasema tai -alue ja pyynnön vastaanotettuaan siirtyy annettu tehtävä työjonossa seuraavaksi. Pyyntö lähetettiin POST-metodilla osoitteeseen *http://ip-osoite:portti/workflow/#*, jossa #-merkin paikalle sijoitetaan haluttu työjonon tyyppi seuraavan taulukon (ks. taulukko 4) mukaisesti.

Taulukko 4. Työjonon tyyppin (/workflow/#) määrittelyperiaate Agilox IGV:n REST-rajapintapyyntöille. Työjonon saamat mahdolliset arvot ovat väliltä 0 – 5.

Työjonotyyppit	Asemalle	Alueelle
Asemalta	0	1
Alueelta	2	3
Kuorma	4	5

Laitteen REST-rajapintaan lähetettävän osoitteen tuli olla seuraavan tehtäväpyynnön kohdalla muodossa *http://ip-osoite:portti/workflow/2* ja JSON-muotoisen POST-metodi-pyyntömuodossa:

```
{
  "@SOURCE": "STATIONAREA1",
  "@DESTINATION": "STATION2",
  "@SERIALNUMBER": "12345678"
}
```

Paluuvastauksena saatiin tässä tapauksessa JSON-muodossa työjonoon lähetetyn tehtäväpyynnön status sekä tehtävän tunnus. Tehtäväpyynnön epäonnistuessa esim. valittaessa väärä työjonon tyyppi, saatiin paluuvastauksena virheviesti sekä tapahtuneen virheen syyt. Tehtäväpyynnön onnistuessa vastaanotettiin seuraavanlainen vastaus:

```
{
  "status": "success",
  "id": 123456780987654321
}
```

Paluuvastauksena saatua tehtävätunnusta pystyttiin käyttämään useisiin eri käyttötarkoituksiin, kuten tehtävän muokkaamiseen, laitteelle asetetun yksittäisen tehtävän tarkastelemiseen, tehtävään liittyvän hyödyllisen informaation keräämiseen sekä tehtävän perumiseen tai ohittamiseen. Lisäksi pystyttiin myös hakemaan tietoa mm. laitteesta, asemista, laitteen unionista, avoimista tehtävistä tai nykyisestä tehtävästä käyttäen pyynnössä GET-metodia. Seuraavassa taulukossa (ks. taulukko 5) on esitetty muutamia

muita testauksen kannalta hyödyllisiä POST- sekä GET-metodin pyyntöjä, jossa *-merkki vastaa osoitteen alkuosaa *https://ip-osoite:portti*.

Taulukko 5. Muutama esimerkki mahdollisista POST- ja GET-metodin pyynnöistä, joita Agilox IGV:n REST-rajapintaan voi lähettää.

Metodi	Osoite	Sisältö (JSON)	Toiminto
POST	*/order	{ "cancel": "true", "id": #, }	Perutaan tehtävä, jonka tunnus on #.
POST	*/order	{ "skip": "true", "id": #, }	Ohitetaan tehtävä, jonka tunnus on #.
GET	*/order/#	-	Haetaan tiedot tehtävästä, jonka tunnus on #.
GET	*/order/open	-	Haetaan avoinna olevat tehtävät työjonosta.
GET	*/order/current	-	Haetaan työn alla oleva tehtävä työjonosta.

AGILOX IGV:n mukana tullut dokumentaatio sisälsi kattavat ohjeet mm. REST-rajapinnan käytöstä ja sen ominaisuuksista sekä tietoturvasta. Ohjeiden ja Postman-ohjelman avulla suoritettiin rajapintatestauksen alkuosa onnistuneesti, jossa annettiin muutamia yksinkertaisia käskyjä, poistettiin tehtäviä sekä kerättiin tehtävistä saatavilla olevia tietoja. Tässä vaiheessa testausta havaittiin myös selkeästi AGILOX IGV:n työn määrittely avoimesta työjonosta, sillä laite ei suorittanut tehtäviä annetussa järjestyksessä vaan laitteen laskemassa tehokkaimmassa järjestyksessä. Saatujen havaintojen ja tietojen perusteella lähdettiin hahmottelemaan mahdollisuuksia toteutusdemoa varten.

3.2.3 Rajapintatestaus, jatkoa (C#/REST)

Tässä vaiheessa rajapintatestausta suunniteltiin ja toteutettiin C#-ohjelmointikielinen demo Microsoft Visual Studio -ohjelmointiympäristössä. Kaikki AGILOX-laitteelle lähetetyt pyynnöt tai kyseiseltä laitteelta noudetut tiedot toteutettiin ohjelmallisilla REST-pyyntöillä joko POST- tai GET-metodeja hyödyntäen, riippuen käyttäjän syötteestä. Ohjelmassa jokaisen URL-osoitteen alkuosa pidettiin samana, mutta loppuosaa muutettiin riippuen käyttäjän syötteestä tai lähetettävän työjonon tyypistä. Tarkoituksena oli simuloida kohdeyrityksen MES-järjestelmää yksinkertaisen käyttöliittymän avulla, josta valitaan haluttu lähde sekä kohde. Lähde- ja kohdelistat saatiin hakemalla kaikki kyseisen unionin asemat sekä alueet AGILOX-laitteelta. Lisäksi lähdelistaan lisättiin loppuun kuorman jättö kohteeseen (Drop). Käyttäjä pystyi valitsemaan lähdekohde -parin, joka lähetettiin pyyntönä AGILOX-laitteelle lisätä kyseinen tehtävä työjonoon.

Ohjelma haki automaattisesti viiden sekunnin välein avoimen sekä sen hetkisen tehtävän AGILOX-laitteelta, jotta käyttäjän oli mahdollista tarkastella sekä myös poistaa valitseman tehtävä tehtävälustasta. Havainnollistamisen vuoksi näytettiin käyttäjälle myös perutut tehtävät, ml. tehtävän tunnus, jota kuljetettiin jokaisen tehtävän kohdalla mukana. Ohjelmademo ei tässä vaiheessa vielä vaatinut tietokannan lisäämistä toteutukseen, sillä ohjelman avulla ei vielä kerätty talteen tai manipuloitu laitteelta saatua informaatiota, muuta kuin em. tavoilla. Ohjelmallisessa toteutuksessa hyödynnettiin REST-pyyntön luomisessa esim. Newtonsoftin Json.NET:ää, joka on .NET Framework -ohjelmistokomponenttikirjastolle luotu JSON viitekehys.

Ohjelman toteutukseen oli varattu n. vajaa viikko aikaa, jonka pohjalta hahmoteltiin siinä ajassa toteutuskelpoiset ja tärkeimmät ominaisuudet. Rajapintatestauksen jatko-osuuden potentiaalina nähtiin siitä syntyvä hyöty soveltuvuusselvityksen suunnittelu- sekä toteutusvaiheessa, sillä REST API:en käyttö on yleistynyt viime vuosien aikana paljon, ja mobiilirobottien valmistajat ovat ottaneet REST-rajapintoja myös käyttöön. Rajapintatestauksen pohjalta saatiin hyvin paljon tietoa REST-rajapintojen mahdollisuuksista laitteiden ja kohdeyrityksen MES-järjestelmän välisenä rajapintana, jonka avulla pystyttäisiin

hallinnoimaan ja ohjaamaan mahdollisuuksien mukaan jopa useamman eri valmistajan laitteita halutulla tavalla samassa ympäristössä.

3.3 MiR laiteperhe

Mobile Industrial Robots A/S eli MiR on tanskalainen, Odensen kaupungissa sijaitseva johtava autonomisia mobiilirobotteja valmistava yritys (Mobile Industrial Robots, 2019b). Mobile Industrial Robots A/S:n toimitusjohtajana toimii Thomas Visti (Mobile Industrial Robots, 2019d). Yrityksellä on yhteensä yli 180 jakelijaa ja yhteistyökumppania ympäri maailmaa, tällä hetkellä 53:ssa eri maassa. Jakelijoita ja yhteistyökumppaneita yrityksellä on Euroopassa esim. Suomessa, Ruotsissa, Norjassa, Saksassa sekä Ranskassa. (Mobile Industrial Robots, 2019c). MiR-mobiilirobotteja käytetään useilla eri teollisuuden aloilla sekä terveydenhuollossa sisälogistiikan automaation kasvattamiseen. MiR takaa valmistamilleen kehittyneille mobiiliroboteille lyhyet, jopa alle vuoden mittaiset takaisinmaksajat. (Mobile Industrial Robots, 2019b).



Kuva 5. MiR200-mobiilirobotti Helsingin Messukeskuksessa järjestetyssä Teknologia 19 -tapahtumassa, Posicraft Oy:n messuosastolla.

Mobile Industrial Robots A/S:llä on saatavilla MiR-mobiilirobotteja useisiin eri käyttötarkoituksiin, kuten laatikoiden siirtoon, kärryjen siirtoon sekä lavojen nostoon ja siirtoon.

Saatavilla olevat mallit laatikoiden siirtoa varten ovat MiR100-malli sekä MiR200-malli (ks. kuva 5), jotka mallinimensä mukaisesti kykenevät kantamaan vastaavasti 100 kg ja 200 kg painoisia kuormia. Nämä kaksi mobiilirobottimallia ovat pieniä ja ketteriä sekä turvallisia ja tehokkaita. Näiden MiR laiteperheen pienimpien mobiilirobottien avulla voidaan helposti automatisoida sisälogistiikan prosesseja sekä optimoida työnkulkua kasvattaen tuotannon tuottavuutta ja tehokkuutta. MiR100- ja MiR200-mobiiliroboteilla on CE-merkintä, jonka lisäksi MiR200-mallin mobiilirobotit ovat myös ESD-hyväksytyjä. (Mobile Industrial Robots, 2019a).

Kärrykuljetinmallit pohjautuvat perusmalleihin MiR100 ja MiR200, joihin lisävarusteena on asennettuna vetokoukkupäällinen. Kärryjä kuljettavat mallit, MiR Hook 100 sekä MiR Hook 200 pystyvät kuljettamaan vastaavasti 300 kg ja 500 kg painoisia kärryjä. Kärrykuljettimet vaativat kuitenkin suuren leveysuuntaisen etäisyyden kääntyessään, sillä kärryjä vedetään laitteen takaosassa sijaitsevalla vetokoukulla. Kärryihin kiinnittymisen sekä jätön tavoitesijainnissa kärrykuljettimet suorittavat kuitenkin autonomisesti. Kärrykuljettimet ovat tehokas vaihtoehto astetta raskaammalle kuormalle, jota halutaan kuljettaa paikasta toiseen tehokkaasti. Esimerkki kärrykuljettimien tehokkaasta käytöstä voidaan nähdä saksalaisen Nidec-yrityksen toiminnassa: jokainen MiR Hook-mobiilirobotti kulkee useita kilometrejä päivittäin, autonomisesti kuljettaen kuljetuskärryjä tuotannon ja varaston välillä. (Mobile Industrial Robots, 2019a).

Lavakuljetinmallit MiR500 sekä MiR1000 ovat MiR laiteperheen isoimpia laitteita, joiden kantokyky on vastaavasti 500 kg sekä 1000 kg. Nämä laitteet on suunniteltu raskaimpien kuormien, kuten eurolavojen kuljetukseen. Eurolavojen kuljetuksen tueksi näiden kahden mobiilirobotin lisälaitteena on saatavilla MiR500 EU Pallet Lift sekä MiR1000 EU Pallet Lift, joiden avulla MiR-lavakuljetinmallit pystyvät kuljettamaan lavoja tehokkaasti ja näppärästi. (Mobile Industrial Robots, 2019a). Koska kumpikaan MiR laiteperheen lavakuljetinmalleista ei kykene ajamaan suoraan lavan alle, on näille laitteille täytynyt kehittää MiR Pallet Rack – EU -lisälaitte, jonka avulla ne kykenevät noutamaan sekä jättämään kuormalavoja (Mobile Industrial Robots, 2019e). Lavakuljetinmalleille MiR500 sekä

MiR1000 sekä laatikkokuljetinmalleille MiR100 ja MiR200 on saatavilla näiden lisäksi juuri näille laitteille suunniteltuja erillisiä lisälaitteita ROEQ:lta, joita käsitellään tarkemmin luvussa 3.3.1 (ROEQ, 2019b).

MiR-laitteille on saatavilla myös kaksi erityyppistä latausasemaa, joista pienempi MiR Charge 24V on tarkoitettu pienemmille MiR100, MiR200, MiR Hook 100 sekä MiR Hook 200 -malleille ja suurempi MiR Charge 48V suuremmille MiR500 ja MiR100 lavakuljettimille. Mobiilirobotit navigoivat sekä telakoituvat molempiin latausasemamalleihin autonomisesti aina tarvittaessa. (Mobile Industrial Robots, 2019a). Alla esitetyssä taulukossa (ks. taulukko 6) ovat listattuna ominaisuuksia kaikista MiR-laiteperheen laitteista, joita voidaan yhdistellä halutulla tavalla kattamaan mukautuvan tuotantoympäristön tarpeet. Näitä laitteita voidaan ohjata, tarkastella sekä hallinnoida MiR Fleet -ohjaus- ja hallintatyökalulla, jota esitellään tarkemmin luvussa 3.3.2.

Taulukko 6. MiR laiteperheen ominaisuudet, jotka perustuvat MiR-mobiilirobottien (Mobile Industrial Robots, 2019a) tuoteselosteeseen.

Erittely	MiR100	MiR Hook 100	MiR200	MiR Hook 200	MiR500	MiR1000
Laatikko	Kyllä	Ei	Kyllä	Ei	Ei	Ei
Lava	Ei	Ei	Ei	Ei	Kyllä	Kyllä
Kärry	Ei	Kyllä	Ei	Kyllä	Ei	Ei
Mitat (mm)	890x580x352	1180x580x550	890x580x352	1180x580x550	1350x920x320	1350x920x320
Mitat ¹ (mm)	-	-	-	-	1350x920x407	1350x920x407
Maksimimitat (mm)	-	1275x580x900	-	1275x580x900	-	-
Paino (kg)	65	98	65	98	226	231
Paino ¹ (kg)	-	-	-	-	282	300
Maavara (mm)	50	50	50	50	30	30
Maksiminopeus (m/s)	1,5	1,5	1,1	1,1	2	1,2
Kantokyky (kg)	100	300	200	500	500	1000
Nostokorkeus (mm)	-	-	-	-	-	-
Nostokorkeus ¹ (mm)	-	-	-	-	60	60
Akun kesto (h)	10	8 - 10	10	8 - 10	10	8
Akun latausnopeus (h)	3	3	3	3	1	1

¹MiR500/1000 EU Pallet Lift

3.3.1 ROEQ lisälaitteet

ROEQ eli Robotic Equipment on pieni tanskalainen mobiilirobotiikan lisälaitteita valmistava yritys. ROEQ valmistaa lisälaitteita MiR-mobiiliroboteille tavoitteena tehostaa sekä virtaviivaistaa näiden laitteiden toiminnallisuutta. (ROEQ, 2019a). Yksinään MiR laitteista ei saada kaikkea niiden tehokkuutta irti, mutta lisäämällä niihin jokin seuraavista ROEQ laitteista, voidaan samalla mobiilirobotilla suorittaa useita eri tehtäviä pelkästään vaihtamalla mobiilirobotin lisälaitte toiseen (ROEQ, 2019b).

MiR-mobiiliroboteille on saatavilla ROEQ (2019b) mukaan lisälaitteita:

- ROEQ TR125 – rullaratalisälaite MiR100- sekä MiR200-malleille.
- ROEQ TML 150 Lifter – nostolisälaite MiR100- sekä MiR200-malleille.
- ROEQ C300 Cart – kärrylisälaite MiR100- sekä MiR200 malleille.
- ROEQ TR500 Top Roller – rullaratalisälaite MiR500-mallille.
- ROEQ TR1000 Top Roller – rullaratalisälaite MiR1000-mallille.

Kaikki ROEQ-lisälaitteet hyödyntävät MiR-mobiilirobottien omia rajapintoja, jonka lisäksi lisälaitteet ovat myös yhteensopivia keskenään. Osa lisälaitteista voidaan kiinnittää ihmisen toimesta laitteeseen pysyvästi, osa voidaan ottaa tarvittaessa mukaan mobiilirobotin toimesta, mikäli laitteen sen hetkinen työtehtävä niin vaatii. Lisälaitteilla pystytään myös vaikuttamaan vahvasti mobiilirobottien tehtävien monipuolistamiseen. ROEQ-lisälaitteiden avulla kyetään takaamaan tehokas ja joustava toiminta MiR laiteperheen laitteille mukautuvassa logistiikka- ja tuotantoympäristössä. (ROEQ, 2019b).

3.3.2 MiR Fleet

MiR Fleet -ohjaus- ja hallintatyökalu mahdollistaa usean samassa tilassa toimivan MiR-laitteperheen mobiilirobotin tehokkaan käytön samanaikaisesti. MiR Fleetin pääasialliset käyttökohteet ovat laivueenhallinnalliset tehtävät, tehtävien priorisointi ja tehtävien määrittely sekä mobiilirobottiliikenteen optimointi. MiR Fleetin avulla pystytään myös konfiguroimaan laivueen mobiilirobotteja yhtenäisesti. MiR Fleet -ohjaus- ja hallintatyökalu mahdollistaa myös mobiilirobottien lisäosien käytön suunnittelun. (Mobile Industrial Robots, 2019a).

MiR Fleetiä voidaan myös käyttää joustavasti millä tahansa laitteella, kuten älypuhelimella, tabletilla tai tietokoneella, riippumatta käyttöjärjestelmästä. Ohjelmiston korkean muokattavuuden ansiosta MiR Fleetin käyttäjä voi myös helposti kustomoida käyttöliittymän näkymää haluamallaan tavalla. MiR Fleet -ohjaus- ja hallintatyökalu sisältää myös täysin toteutetun REST API:n, jonka avulla mobiilirobottilaivueen laitteista voidaan hakea

tietoa sekä lähettää MiR Fleetille uusia tehtäviä työjonoon. Lisäksi REST-rajapinnan avulla pystytään myös liittämään MiR Fleet yrityksen MES- tai ERP-järjestelmiin halutulla tavalla. (Mobile Industrial Robots, 2019a).

3.4 Robotize laiteperhe

Robotize on tanskalainen, Kongens Lyngbyssä sijaitseva yritys, joka valmistaa itseohjautuvia ajoneuvoja, kuten mobiilirobotteja. Näiden ajoneuvon tai laitteiden pääasiallisia sijoituskohteita ovat tehtaot ja laitokset sekä sisälogistiikkavarastot. Robotize yrityksenä panostaa yhteistyökykyisten mobiilirobotteja kehitykseen pyrkien tuottamaan mahdollisimman yksinkertaisia sekä tehokkaita mobiilirobotiikan sisälogistiikkaratkaisuja asiakkailleen. Robotize toteuttaa mobiilirobotiikan ratkaisujaan painottaen joustavuutta sekä turvallisuutta. (Robotize, 2019a). Posicraft Oy on Robotizen maahantuojana Suomessa.

Robotizen laiteperheeseen kuuluvat tällä hetkellä vain raskaamman kuorman, kuten euroalavojen nostamiseen suunnitellut GoPal mobiilirobotit (Robotize, 2019a). GoPal koostuu kahdesta kuormalavojen siirtoon suunnitellusta mobiilirobotista, joista ensimmäinen on Robotize GoPal 400. Robotize GoPal 400 on autonominen mobiilirobotti, jonka päätehtävänä on kuljettaa euroalavoja, jotka ovat kuormaltaan alhaisesta keskitasoon. GoPal 400 kykenee kantamaan maksimissaan 425 kg painoista kuormaa, joka on standardi euroalavan mittoissa. Mobiilirobotti itsessään ei paina kuin 175 kg, eikä sen omaa painoa lasketa mukaan kuormaan. Paino ja kantokyky huomioon ottaen sekä verrattuna muihin mobiilirobotteihin, GoPal 400 -laite kykenee kulkemaan hyvin suurella maksiminopeudella, jopa 2,4 metriä sekunnissa. (Robotize, 2019b).

Lavakuljettimiksi laitteen akun kesto on erittäin hyvä, n. 10 – 14 tuntia kolmen vartin latausta kohden. Turvallisuutta ajatellen laitteessa on täysi 360°:en turvakannerit sekä hätäseis-painikkeet jokaisessa kulmassa. Lisäksi laitteessa on mekaaninen puskuri, joka ympäröi koko laitetta. GoPal 400 -laitteessa on lisäksi saatavilla kolme 3D kameraa, jotka kykenevät havaitsemaan esteitä laitteen etu- ja takapuolelta sekä korkealta että

matalalta. Muiden mobiilirobottien tapaan myös GoPal-laitteet telakoituvat latausasemaan automaattisesti, mutta laitteeseen on lisäksi myös saatavilla manuaalinen latauspistokkeen kautta. Itse Robotize GoPal 400 -laitteen käyttöönotto kestää valmistajan mukaan vain muutaman päivän eikä laite vaadi juurikaan aikaa sopeutua ympäristöön. (Robotize, 2019b).

Toinen Robotize GoPal -mobiilirobotti on Robotize GoPal E24, joka on kaikilla muilla tavoin hyvin samankaltainen kuin Robotize GoPal 400, mutta GoPal E24 painaa hiukan enemmän (187 kg) sekä kykenee kantamaan huomattavasti painavampia kuormia, yhteensä n. 1000 kg edestä. Yhtenä erona kuorman kantokyvyn kasvun mukana GoPal E24 -laitteessa tulee myös huonompi akun kesto sekä matalampi maksiminopeus verrattuna GoPal 400 -laitteeseen. (Robotize, 2019c).

GoPal sisältää mobiilirobottien lisäksi myös täysin yhteensopivat tehokkuutta lisäävät lisälaitteet sekä ohjaus- ja hallintaohjelmiston, joita käsitellään tarkemmin luvuissa 3.4.1 ja 3.4.2. GoPal-laitteet ovat älykkäitä sekä autonomisia, joka näkyy niiden kyvyissä mennä lataukseen aikataulun ja tehtävien sen salliessa sekä liikkeiden dynaamisuudessa ja ketteryydessä. Robotize GoPal-laitteet kykenevät pyörähtämään täysin paikallaan sekä määrittelemään reittinsä uudelleen, mikäli niiden kulku on täysin estetty. GoPal-laitteet on suunniteltu toimimaan Plug and Play -periaatteella, jolloin laitteet istuvat lähestulkoon minkälaiseen logistiikka- tai tuotantoympäristöön tahansa. Lavaliikenteen automatisointi GoPal-laitteiden myötä ei vaadi myöskään suuria muutoksia työnkulkuun tai tehtaan järjestelyihin. (Robotize, 2019d).

Mobiilirobotit vaativat ainoastaan pienen ylimääräisen tilan kulkeakseen, vain muutama sentin enemmän kuin mitä manuaalinen pumppukärryllä kuljettaminen vaatisi käytävillä sekä käänöksissä. Lisäksi ketterän ja autonomisen navigoinnin tukena ovat LiDAR-anturitekniikka sekä tarkoin ja vaihteittain luotu pohjapiirros. Kuten aiemmin mainittiin, on GoPal-järjestelmä suunniteltu hyvin yksinkertaiseksi ja helpoksi käyttää, joka näkyykin parhaiten haastavien teknisten rajapintojen sekä käyttöliittymien minimoinnissa.

Laitteiden ohjaus voi tapahtua yksinkertaisesti napin painalluksella, lukemalla viivakoodin tai verkkoselaimen avulla. (Robotize, 2019e).

GoPal ei ole pelkästään mobiilirobottitoteutus, vaan täysin toimiva ja optimoitu kokonaisuus. Kaikki osa-alueet GoPal-kokonaisuudessa ovat täysin EU:n turvallisuusstandardien mukaisia, joten GoPal-järjestelmä on sekä turvallinen että yksinkertainen. (Robotize, 2019f). Seuraavassa taulukossa (ks. taulukko 7) on listattuna GoPal-laitteiden, Robotize GoPal 400 sekä Robotize GoPal E24 ominaisuuksia.

Taulukko 7. Robotize laiteperheen ominaisuudet, jotka perustuvat GoPal 400 (Robotize, 2019b) sekä GoPal E24 (Robotize, 2019c) tuoteselosteeseen.

Erittely	Robotize GoPal 400	Robotize GoPal E24
Laatikko	Ei	Ei
Lava	Kyllä	Kyllä
Kärry	Ei	Ei
Mitat (mm)	1400x860x315	1400x860x315
Paino (kg)	175	187
Maavara (mm)	4	4
Maksiminopeus (m/s)	2,4	2
Kantokyky (kg)	425	1000
Nostokorkeus (mm)	-	-
Akun kesto (h)	10 - 14	6 - 10
Akun latausnopeus (h)	0,75	0,75

3.4.1 GoPal-lisälaitteet sekä GoControl

Robotize GoPal-lisälaitteista on erittäin suuri hyöty laitteiden tehokkuuden ja tuottavuuden varmistamiseksi. Lisälaitteiden ja latausasemien määrä suunnitellaan vastaamaan GoPal-laitteiden määrää sekä kartoitettuja logistiikkatarpeita. (Robotize, 2019d). GoPal-lisälaitteita on saatavilla tällä hetkellä kolmea erilaista: standardi lava-asema (GoPal Standard Pallet Station, rullaradalla varustettu lava-asema (GoPal Conveyor Pallet Station) sekä lavanostimella varustettu lava-asema (GoPal Elevation Pallet Station). Lisäksi

samaan standardoituun rakenteeseen on saatavilla latausasema (GoPal Power Station) mobiilirobottien tehokkaaseen lataukseen. (Robotize, 2019g).

GoPal-laitteiden ohjaus- ja hallintaohjelmistoon saadaan yhteys suoraan langattoman verkon välityksellä, niin kauan kun GoControl on käynnissä sitä ohjaavalla päätietokoneella (Robotize, 2019e). GoControl-ohjelmisto on suunniteltu maksimoimaan GoPal-mobiilirobottien tehokkuutta ja suorituskykyä sekä kommunikoimaan saumattomasti kaikkien yhteydessä olevien laitteiden kanssa (Robotize, 2019f).

GoPal-laitteet keräävät ja raportoivat informaatiota yksittäisten mobiilirobottien toiminnasta ja tilasta sekä järjestelmien toiminnasta GoControl-ohjelmistoa käyttävälle tietokoneelle. Kyseistä informaatiota voidaan jälkikäteen käsitellä GoControl-ohjelmiston avulla esim. optimointi-, diagnosointi- tai palvelumielessä. Kerätyllä informaatiolla on yrityksille myös taloudellista arvoa tulevaisuuden logistiikkatarpeiden kartoituksen sekä sisälogistiikan toiminnan valvonnan muodossa. (Robotize, 2019e). GoPal-laitejärjestelmä pystytään myös täysin integroimaan yrityksen olemassa olevaan ERP- tai WMS-järjestelmään (Robotize, 2019d).

3.5 Fetch Robotics laiteperhe

Fetch Robotics on palkittu Pohjois-Amerikkalainen sisälogistiikan automaatioalan yritys, joka on perustettu vuonna 2014 (Fetch Robotics, 2019a). Yrityksen pääkonttori sijaitsee Kalifornian Piilaaksossa (Fetch Robotics, 2019a) ja yrityksen toimitusjohtajana toimii Melonee Wise (Fetch Robotics, 2019b). Fetch Robotics kehitti maailman ensimmäisen pilvipohjaisen mobiilirobottialustan (Fetch Cloud Robotics Platform). (Fetch Robotics, 2019a). A-J Automation on Fetch Roboticsin maahantuoja Suomessa. Fetch Roboticsilla ei ole mobiilirobottien laiteperheestään tarkkaa teknistä kuvausta saatavilla yrityksen verkkosivuilla, vaan se täytyy erikseen pyytää.

Fetch Robotics tarjoaa logistiikkaprosessien ja materiaalivirran tueksi laiteperhettä, jossa on saatavilla kaiken näköisiä sekä kokoisia laitteita. Fetch Roboticsin mobiilirobottien tavoitteena on sekä edistää tuottavuutta tehtaissa että modernisoida tuotantoa. Kyseisestä laiteperheestä Fetch Robotics käyttää nimeä VirtualConveyor, joka muodostuu kolmesta mobiilirobottialustasta: Freight100, Freight 500 sekä Freight1500. Freight500 sekä Freight1500 on suunniteltu painavien kuormien, kuten lavojen kuljettamiseen. Näistä mobiiliroboteista taas pienin, Freight100 toimii usean lisälaitteen pohjana luoden täten laiteperheestä monimuotoisen kokonaisuuden. VirtualConveyor-laiteperhe sisältää näiden kahden lavakuljetinmallin lisäksi kolme Freight100-pohjaista lisälaitteella varustettua mobiilirobottia: HMIShelf, RollerTop sekä CartConnect. (Fetch Robotics, 2019c).

HMIShelf-mobiilirobotissa Freight100-mobiilirobottialustan päälle on sijoitettu hyllyrakenne, johon voidaan asettaa halutulla tavalla välihyllyjä tai kasata kuormaa päällekkäin sekä sitoa kuorma kuljettimeen. HMIShelf-mobiilirobotin pääasiallinen kuorma on erimuotoiset sekä kokoiset laatikot. Kyseinen mobiilirobotti voi toimia ihmisten sekä laitteiden seassa huoletta ja laitetta pystytään ohjaamaan kätevästi vaikkapa lisälaitteeseen integroidun kosketusnäytön avulla. HMIShelfin hienous on sen muunneltavuus tehtävään vaaditulla tavalla. (Fetch Robotics, 2019c).

Seuraava kolmesta mobiilirobottialustasta poikkeava VirtualConveyor-laiteperheen jäsen on RollerTop-mobiilirobotti, joka perustuu myös Freight100-mobiilirobottialustaan kiinnitettyyn lisälaitteeseen. Tämä kyseinen lisälaitte on korkeussäädettävä rullarata, jonka avulla pystytään kuljettamaan kevyttä kuormaa, kuten laatikoita sekä muovilaatikoita. (Fetch Robotics, 2019c). RollerTop-mobiilirobotti kykenee sille määritellyn kuorman vastaanottamisen sekä kuljettamisen lisäksi myös käskyttämään tehtaassa rullarataa älykkään FetchLink IoT-rajapinnan sekä FetchCore-ohjaus- ja hallintaohjelmiston avulla. (Fetch Robotics, 2019d).

Kuljetuskärryt ovat edelleen suuressa merkityksessä logistiikan materiaalinhallinnassa. Tästä syystä Fetch Robotics näki erittäin tarpeelliseksi sisällyttää VirtualConveyor-

laiteperheeseen käärykuljettimen. Viimeinen mobiiliroboteista on täten nimeltään Cart-Connect, jolla nimensä mukaisesti kuljetetaan pääsääntöisesti kääryjä. (Fetch Robotics, 2019d). Fetch Roboticsin käärykuljetin asettautuu laitteelle suunnitellun kääryn alle ja kiinnittyy siihen autonomisesti kahden metallitapin avulla. Useat sensorit avustavat tätä kiinnitysprosessia, jotta laitteen toiminta pysyy turvallisena ja tehokkaana. CartConnect-käärykuljetin liikkuu yllättävän nopeasti, n. 1,5 m/s ihmisten ja muiden laitteiden seassa kuljettaessaan kääryä. (Fetch Robotics, 2019e).

Fetch Roboticsin laatikko- sekä käärykuljettimissa on CE-merkintä, mutta valmistajan suuremmissa lavakuljetinmalleissa ei tätä merkintää vielä ole (L. Iven, & J. Volanen, henkilökohtainen tiedonanto, 9.12.2019). Fetch Roboticsin VirtualConveyor-laiteperheen mobiilirobottien potentiaalia on nähty muuallakin päin maailmaa ja niitä on käytössä jo yrityksissä, kuten DHL sekä Wärtsilä. (Fetch Robotics, 2019c). Alla olevassa taulukossa (ks. taulukko 8) on Fetch Roboticsin VirtualConveyor-laiteperheen keskeisimmät ominaisuudet.

Taulukko 8. Fetch Robotics laiteperheen ominaisuudet, jotka perustuvat Fetch Roboticsin (L. Iven, & J. Volanen, henkilökohtainen tiedonanto, 9.12.2019) tuoteselosteeseen.

Erittely	Freight100	HMIShelf	RollerTop	CartConnect	Freight500	Freight1500
Laatikko	-	Kyllä	Kyllä	Ei	Ei	Ei
Lava	-	Ei	Ei	Ei	Kyllä	Kyllä
Kärry	-	Ei	Ei	Kyllä	Ei	Ei
Mitat (mm)	559/359 ¹	-	725/457 ¹	573/496 ¹	1014x1441x356	1324x1677x356
Mitat lisäosan ² kanssa (mm)	-	573/1299 ¹	725/457-914 ¹	830/1400 ^{1 3}	-	-
Paino (kg)	68	90	85	74	267	469
Paino lisäosan ³ kanssa (kg)	-	-	-	101	-	-
Maavara (mm)	-	-	-	-	-	-
Maksiminopeus (m/s)	2	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Kantokyky (kg)	-	78	23-36	77	500	1500
Nostokorkeus (mm)	-	-	-	-	-	-
Akun kesto (h)	-	9	9	9	9	9
Akun latausnopeus (h)	-	3	3	3	1	1

¹Läpimitta/Korkeus ²Freight100 + lisäosa ³Kärryn kanssa

3.5.1 Fetch Core

Fetch Roboticsin pilvipohjainen mobiilirobottialusta yhdistää kattavan ohjelmistokokonaisuuden sekä palvelut yhteen mobiilirobotiikan alan suurimpaan laiteperheeseen. Tämän tehokkaan kokonaisuuden avulla voidaan toteuttaa logistiikkaprosessien automaation tehostaminen sekä kerätä informaatiota ennennäkemättömällä tavalla. (Fetch Robotics, 2019f).

Fetch Core on Fetch Roboticsin pilvipohjaisen VirtualConveyor-mobiilirobottiperheen käyttöönottoon, ohjaamisen sekä optimointiin suunniteltu ohjaus- ja hallintaohjelmisto, josta kuvataan myös ERoP-järjestelmänä (Enterprise Robot Planning). Fetch Coren avulla

pystytään myös hallinnoimaan sekä valvomaan yhteydessä olevien mobiilirobottien tilaa ja tehtäviä. Ohjelmiston ansiosta Fetch Roboticsin pilvipohjainen mobiilirobottijärjestelmä voidaan käyttöönottaa vain muutamissa tunneissa. (Fetch Robotics, 2019d).

3.6 Arviointiperusteet

Tässä luvussa on esitetty mobiilirobottien arviointiperusteet (ks. taulukko 9), johon on koottu tärkeimmät ominaisuudet sekä arviointiin vaikuttavat tekijät valmistajakohtaisesti laiteperheittäin. Muilta valmistajilta on saatavilla useampia malleja, kun taas Agiloxilta on saatavilla yksi malli, valmistajan ensimmäinen AGILOX IGV -malli. Taulukon täyttämisen kohdeyrityksen tuotantoympäristön, logistiikkaprosessien ja materiaalivirtojen perusteella toteutetaan luvussa 5.1. Arvoilla ja painoarvoilla täydennetyin taulukon pohjalta voidaan arvioida jokaisen valmistajan laiteperheen soveltuvuutta luvussa 5.2 esitettyihin käyttökohteisiin. Tämän perusteella voidaan valita kohdeyrityksen tuotantoympäristöön ja nykyisiin logistiikkaprosesseihin sopivin käyttökohde sekä sitä vastaava laite soveltuvuus selvitystä varten.

Arvioitavana olevien laitteiden ominaisuudet (ks. taulukko 9) saavat arvot väliltä 0 – 3, perustuen luvussa 3 kerättyihin tietoihin ja taulukoihin jokaisesta laiteperheestä sekä luvun 5.1 logistiikkakartoitukseen. Painoarvot taas määrittyvät ominaisuuskohtaisesti kohdeyrityksen tuotantoympäristön tarpeiden ja edellytysten mukaisesti. Painoarvoilla pyritään kasvattamaan kriittisten tekijöiden tärkeyttä.

Taulukko 9. Laitteperheiden vertailun mahdollistamiseksi luodut arviointiperusteet sekä selitteet ryhmiteltynä.

Kategoria	Arviointiperuste	Selite
Kuljetustapa	Laatikko	Toiminta ja tehokkuus laatikoiden kuljetuksessa.
	Lava	Toiminta ja tehokkuus lavojen kuljetuksessa.
	Kärry	Toiminta ja tehokkuus kärryjen kuljetuksessa.
Ominaisuudet	Maksiminopeus	Laitteperheen keskimääräisen nopeuden mukaan.
	Kantokyky	Laitteperheen monimuotoisuus kantokyvyn perusteella.
	Nostokorkeus	Nostomahdollisuus lisälaitteella tai ilman.
Käytettävyys	Akun kesto	Työpäivän mukaan (>8h).
	Akun latausnopeus	Latausajan perusteella (>80%:n varaukseen).
	Kommunikointi ja yhteydet	Laitteiden välinen kommunikointi, ohjaustyökalut ja tietoliikenneyhteydet.
	Rajapinnat ja käyttöliittymät	Ohjelmiston asennuksen ja käytön helppous sekä avoimet rajapinnat, kuten REST.
	Ketteryyys	Tilan tarve ja liikkuvuus.
Kriittiset	Turvallisuus	Turvalaitteet, sensorien kattavuus ja lisäturvalaitteet.
	Saatavuus	Saatavuus toimittajalta sekä maahantuojalta.
	Integroitavuus	Infrastruktuurimuutostarve, lisälaitteet ja käyttöönoton helppous.
	Toimintavarmuus	Huoltoväli, käyttäjäkokemus, huollon saatavuus, varaosat ja toimitus.
	Laajennettavuus	Uusien laitteiden lisäyksen ja käyttöönoton helppous.
Muut	Leasing-mahdollisuus	Laitteiden leasing sopimuksen mahdollisuus.
	Referenssit	Tunnettuja yrityksiä maailmalta ja Suomesta.

4 Menetelmät

Tässä luvussa käydään läpi tutkimuksen taustaa, josta käy ilmi tutkimusympäristö sekä tutkimuksessa luotavan artefaktin tyyppi. Lisäksi esitellään lyhyesti myös työn menetelmät, tutkimusote, aineiston hankinta sekä analyysit. Tutkimuksen tutkimusmenetelmänä toimii Design Science eli suunnittelutieteet, jonka pohjalta kehitettyä Design Science Research Methodology -mallia käytetään artefaktin suunnitteluun ja toteutukseen soveltaen. Tutkimus on tyypiltään teoreettinen sekä empiirinen ja tutkimusote pääsääntöisesti laadullinen. Valmistajien välinen vertailu on tärkeänä osana tutkimuksessa luodun artefaktin suunnittelua.

Aineistoa hankittiin suurelta osin hyödyntämällä Google Scholar -hakukonetta sekä digitaalisia kirjastoja, kuten IEEE Xplore Digital Library sekä ACM Digital Library. Näillä keinoin löydettiin useita aihepiiriin liittyviä artikkeleita sekä konferenssijulkaisuja, joiden pohjalta tutkimuksen teoreettinen viitekehys voitiin muodostaa. Valmistajien verkkosivuilta löydettiin laitekohtaiset esittelysivut sekä tekniset dokumentaatiot mobiilirobottien kartoitusta varten. Kokeilujaksojen sekä soveltuvuus selvityksen aikana hyödynnettiin havainnointi-, mittaus- sekä vertailumenetelmiä. Tutkimuksen toteutusvaiheen logistiikkaprosessien ja materiaalivirtojen kartoituksessa hyödynnettiin logistiikan ja tuotannon työjohtajien asiantuntemusta. Simuloinnin perusteella saatiin vastauksia kysymykseen: *”Minkälaisia hyötyjä mobiilirobottien käyttöönotosta voidaan saavuttaa?”*.

Hankittua aineistoa analysoitiin tutkimuksen aihepiirin sekä toteutuksen kannalta kiinnostavien asioiden kannalta. Näitä olivat esim. mobiilirobottien toimintaan laajasti vaikuttavat ominaisuudet, hyväksi todetut käytännöt sekä tehtyjen toteutusten hyödynnettävyys. Tutkimuksen aineistoa läpikäymällä ja analysoimalla voitiin lisätä kiinnostavia ja tärkeäksi nähtyjä asioita, josta muodostui lopulta yhtenäinen kokonaisuus. Teoreettisesta viitekehuksesta jätettiin näin ollen pois tutkimuksen laajuuden ulkopuolelle jääneet osiot.

4.1 Tutkimuksen taustaa

Tutkimuksessa pyritään ratkaisemaan kenttäongelma, joka syntyi organisaation tarpeesta ratkaista tuotannon mobiilirobotiikan käyttöönottoon liittyvä ongelma. Tutkimuksessa syntyvä artefakti on malli, jota mukailten tai soveltamalla voidaan toteuttaa toimiva järjestelmä esitetyn ongelman ratkaisemiseksi, ottaen huomioon kuitenkin organisaation tarpeet sekä rajoitukset. Käsiteltävä ongelma on sopivan laitevalmistajan valinta sekä toimivan toteutuksen kelvollisuuden osoittaminen onnistuneesti valitulla laitteella sekä fyysisesti että simuloimalla tuotantoympäristössä. Hankitun aineiston pohjalta selvisi, ettei laitevalmistajien välisiä vertailuja ole otettu näin suuressa määrin osaksi ratkaisua, jos ollenkaan. Tämä toimii tehdyn tutkimuksen pääasiallisena motivaationa artefaktin luomiselle.

Uuden artefaktin kohdalla pyrittiin hyödyntämään hankittua aineistoa ratkaisun löytämiseksi esitettyyn ongelmaan. Ongelma ratkaistiin artefaktilla, joka syntyi tutkimuksen pohjalta. Tutkimuksessa selvitettävän ongelman tärkeys pohjautuu organisaation tarpeeseen löytää ratkaisu esitettyyn ongelmaan, jotta haluttu käyttösovellus voitaisiin toteuttaa ratkaisun pohjalta. Tutkimuksessa syntyvän artefaktin pääasiallinen käyttötarkoitus on ongelman ratkaiseminen organisaatiossa, mutta artefaktia voitaisiin hyödyntää myös jatkotutkimuksissa sekä organisaation kaltaisissa ympäristöissä samankaltaisten ongelmien ratkaisemisessa.

4.2 Metodologia

Suunnittelutieteet (Design Science) on 90-luvun puolivälissä kehitetty tutkimusmenetelmä, joka on kehitetty pääasiassa tietojärjestelmien tutkimukseen ja arviointiin. Suunnittelutieteiden tutkimusmenetelmään perustuvassa tutkimuksessa luodaan artefakti tutkimuksessa esitetyn ongelman ratkaisemiseksi. Ongelmaan ratkaisuksi esitetty artefakti voi olla käsite, malli, menetelmä tai ilmentymä. Tässä tutkimuksessa käytettiin

suunnittelutieteiden metodologiaa DSRM (Design Science Research Methodology). (Peppers, Tuunanen, Rothenberger, & Chatterjee, 2008).

DSRM on metodologia, jonka esittivät Peppers, Tuunanen, Rothenberger ja Chatterjee (2008). DSRM:n avulla voidaan toteuttaa suunnittelutieteen tutkimuksia, hyödyntäen DSRM-prosessimallin eri vaiheita. Kyseisen prosessimallin vaiheet ovat ongelman selvittäminen sekä työn motivointi (Identify Problem & Motivate), tavoitteiden määrittely (Define Objectives of a Solution), suunnittelu ja kehitys (Design & Development), demonstraatio (Demonstration), evaluointi (Evaluation) sekä tiedonanto (Communication). (Peppers, Tuunanen, Rothenberger, & Chatterjee, 2008).

Tässä tutkimuksessa demonstraatio toteutetaan fyysisen soveltuvuusselvityksen muodossa ja evaluointi toteutetaan simuloinnin avulla, kun taas tiedonanto toteutetaan tutkimuksen julkaisun muodossa. Demonstraatio ja evaluointi ovat tutkimuksen kannalta prosessimallin kaksi tärkeintä vaihetta, joiden perusteella tutkimuksessa esitetyn ratkaisumallin toteutettavuus ja lisäarvo vahvistetaan. (Peppers, Tuunanen, Rothenberger, & Chatterjee, 2008). Myös Hevner, March, Park ja Ram (2004) painottavat tutkimuksessaan täsmällisesti suoritettujen evaluoinnin tärkeyttä artefaktin käytettävyyden, laadun ja tehokkuuden arvioinnissa. Gregor ja Hevner (2013) taas perustelevat evaluoinnin tärkeyttä toteamalla sen osoittavan esitetyn artefaktin tarpeellisuuden. Seuraavassa taulukossa (ks. taulukko 10) ovat esitettynä DSRM-prosessimallin vaiheita vastaavat tutkimusvaiheet.

Taulukko 10. DSRM-prosessimallin vaiheet esitettynä vasemmalla sekä oikealla näille vaiheille tämän tutkimuksen vastineet niille vaiheittain.

DSRM-prosessimallin vaihe	Tutkimuksen vaihe
Ongelman selvittäminen¹ sekä työn motivointi²	5.1 Logistiikkaprosessien ja materiaalivirtojen kartoitus ¹ (nykytilanteen kartoitus) 1 Johdanto ² (työn esittely ja tutkimuskysymykset) 4.1 Tutkimuksen taustaa (tutkimusongelma sekä työn motivointi)
Tavoitteiden määrittely	5.2 Potentiaaliset käyttökohteet tuotantoympäristössä (käyttökohteiden listaus ja arviointi)
Suunnittelu ja kehitys	5.5.1 Seurantajakson suunnitelma (järjestelyt ja tuotantoympäristön valmistelut)
Demonstraatio	5.5.2 Seurantajakson ensimmäinen viikko (laitteen valmistelut ja määrittelyt) 5.5.3 Seurantajakson toinen ja kolmas viikko (varsinaisen seurantajakson toteutus)
Arviointi	5.6.1 Arviointi (mobiilirobottien tuoma lisäarvo)
Tiedonanto	7 Johtopäätökset (tärkeimmät havainnot sekä ratkaisut) Tutkimuksen julkaiseminen

5 Mobiilirobotti tuotannossa

Tässä luvussa käydään läpi työn toteutusvaihe alkaen logistiikkaprosessien ja materiaalivirtojen kartoituksesta, jotka tehdään yhteistyössä kohdeyrityksen asiantuntijoiden kanssa sekä selvitystyön avulla. Näiden tietojen pohjalta voidaan valita potentiaalisia käyttökohteita, joista soveltuvin valitaan toteutukseen. Mobiilirobottien vertailun ja tehtyjen kartoitusten perusteella valitaan sopivin mobiilirobotti soveltuvuus selvitystä varten. Seuraavaksi käydään läpi riskianalyysi ja riskinarviointi sekä suunnitellaan valitulle mobiilirobotille soveltuvuus selvitys kohdeyrityksen tuotantoympäristössä. Lopuksi toteutetaan suunniteltu fyysinen soveltuvuus selvitys tuotantoympäristössä sekä suoritetaan evaluointi simuloinnin avulla.

5.1 Logistiikkaprosessien ja materiaalivirtojen kartoitus

Soveltuvuus selvitystä varten kartoitetaan kohdeyrityksen logistiikkaprosesseja ja materiaalivirtoja. Tutkitaan, missä muodossa materiaali nykyisellään liikkuu kohdeyrityksen logistiikkaprosesseissa. Esitetään myös trukkien ja mobiilirobottien tärkeimpiä eroavaisuuksia, hyötyjä ja haittoja. Selvitetään lisäksi tarkemmin tulevaisuuden tavoitteita ja näkymiä mobiiliroboteista kohdeyrityksessä. Lopuksi kartoitetaan tuotannon soveltuvuus selvityksessä käytettävä tietoliikenneinfrastruktuuri.

Nykyprosessissa materiaalit ja valmiit tuotteet kuljetetaan pääsääntöisesti trukkien avulla lavakonteissa ja eurolavoilla, tai puolieurolavoilla. Lisäksi käytetään tarpeen vaatiessa kärryjä, joita täytetään ja kuljetetaan manuaalisesti. Käytössä on myös eri kokoisia ja näköisiä muovilaatikoita ja pahvilaatikoita. Laatikot kuljetetaan materiaalivarastosta trukeilla lavojen päällä tuotantoon. Iso osa laatikoista nostetaan käsin trukkipuskien toimesta läpivirtahyllyihin. Laatikot ovat monesti painavia ja nostokorkeudet suuria, joten manuaalinen nostoprosessi on ergonomisesti hyvin kuormittava. Materiaalin kuljetuksessa hyödynnetään tällä hetkellä vähäisesti automaatiota, joten laatikoiden noudon ja viennin tueksi ei ole vaadittu juurikaan apuvälineitä, lisälaitteita tai rullakuljetinpätkiä.

Laajemmat muutokset nykyprosesseihin ja tehdaslayoutiin saattaisivat aiheuttaa ongelmia tilan käytön optimoinnissa ja materiaaleja tai valmiita tuotteita hyllyihin nostettaessa useampaan kerrokseen.

Logistiikan puolella eurolavoja sekä puolieurolavoja sijaitsee useilla eri hyllytasoilla, korotetuilla lattiatasoilla sekä lattiatasoilla. Lavoille määrätty lava- tai hyllypaikat on mitoitettu hyllyväleittäin eikä niitä ole tarkasti rajattu tai merkitty logistiikan puolella, toisin kuin tuotannon puolella. Nykyprosessissa hylly- tai lavapaikoilta noudetaan valmiita tuotteita ja niihin tuodaan materiaalia trukeilla tai pinoamisvaunuilla. Lavapaikat ja muutamman kerroksen korkuiset hyllypaikat ovat tuotannon puolella suurimmalta osin lattiatasoilla. Lava- ja hyllypaikkoja ei ole suunniteltu mobiilirobottien tai automaattitruckien käyttöön, ja ne edellyttävät laajoja muutoksia näiden laitteiden käyttöä varten. Lisäksi myös tehdaslayout sekä nykyprosessit vaativat useita muutoksia, jotta mobiilirobotteja tai automaattitrukkeja on mahdollista tehokkaasti hyödyntää logistiikkaprosesseissa.

Valmiit tuotteet pinotaan tiimien sisällä manuaalisesti pahvilaatikoissa lavojen päälle ja lavan ollessa lähtövalmis tilataan kyseiselle lavalle nouto lähettämöön. Trukkikuski noutaa valmiit tuotteet lavoittain niille sijoitetuilta lavapaikoilta tiimeistä ja kuljettaa ne lähettämöön. Valmiiden tuotteiden siirrot tehdään tilauksittain, jolloin yhden lavan päälle saatetaan usein laittaa vähimmillään vain yksittäinen pieni pahvilaatikko.

Kohdeyrityksen tehdas on hyvä esimerkki tuotannon korkeasta automaatioasteesta, jota ei olla logistiikan puolella vielä saavutettu. Nykyprosessien tehokkuutta rajoittavat ihmisresurssit sekä työajan puitteissa suoritettavat materiaalien kuljetukset tiimeihin sekä valmiiden tai jatkokäsiteltävien tuotteiden kuljetukset tiimeistä. Mobiilirobotit eivät ole sirottuja työaikaan, vaan ne pystyvät operoimaan aina tarvittaessa maksimoiden käytettävyyssajan. Käytettävyyssajaa rajoittaa kuitenkin mobiilirobottien lataustarve sekä latausajojen pituudet, joiden vaikutuksia voidaan minimoida optimoimalla käytössä olevien mobiilirobottien lukumäärät tehtaalla etäisyyksien, työmäärien sekä työtehtävien mukaan.

Trukit pystyvät tarvittaessa määrittelemään mielivaltaisesti jättöpisteen sekä viemään materiaaleja tai valmiita tuotteita vaihtelevalta alueelta, ennalta määrätyn alueen sijaan. Mobiilirobottien toiminta itsessään lisää dynaamisuutta ja joustavuutta, mutta ne vaativat sekä lähetys- että vastaanottopäissä kiinteät kuljettimet tai lava-alueet. Toisaalta tämä tukee tehtaan lean-mallista tuotantoa sekä 5S-konseptia, jossa materiaalit ovat aina omilla merkityillä paikoillaan siististi ja ajallaan toimitettuna. Tällä hetkellä materiaalia puskuroidaan logistiikan materiaalivaraston lisäksi myös tiimeissä. Mobiilirobottien avulla tuotantoalueella sijaitsevia puskureita voidaan minimoida ja materiaalivirtausta yksinkertaistaa sekä nopeuttaa.

Tulevaisuudessa kohdeyrityksen tavoitteena on vähentää lavaliiikennettä sekä standardoida laatikoiden koot. Materiaalit tulevat pääasiassa olemaan muovilaatikoissa ja pakatut tuotteet pahvilaatikoissa. Muovilaatikoista tulee olemaan muutamia eri tyyppisiä tai kokoja vaihdellen materiaalin koon tai määrän mukaan. Lavaliiikennettä tulee kuitenkin olemaan erityisesti logistiikan päässä, mutta myös tuotannon päässä etenkin tiettyjen isompien komponenttien sekä valmiiden tuotteiden osalta. Lavaliiikenteen automatisointi mobiiliroboteilla voidaan tuoda osaksi nykyprosessia parhaiten lattiatasolta lattiatasolle lavoja kuljettavalla laitteella, joka ei vaadi erikseen asennettuja lisälaitteita tai kuljetinpätkiä lähetys- tai vastaanottopäissä.

Tulevien vuosien tavoitteeksi on asetettu toteuttaa logistiikan puolella automaattivarasto, jonka tehtävänä on mm. vähentää liikkumista materiaalien välillä. Tämä tukee ja helpottaa niin keräilijöiden kuin myös mobiilirobottien toimintaa. Tavoitteena on myös tehostaa logistiikkaprosesseja sekä materiaalivirtoja hyödyntämällä mobiilirobotteja. Mobiilirobottien ensisijainen käyttökohde olisi materiaalien kuljettaminen laatikoissa tiimeille sekä valmiiden tuotteiden kuljettaminen laatikoissa logistiikan varastoon. Toisaalta mobiiliroboteilla olisi mahdollista myös kuljettaa lavoja sekä karryjä. Käyttöön otettavat mobiilirobotit olisivat ideaalitalanteessa yhdeltä laitevalmistajalta, jonka laiteperhe kattaisi logistiikan nykyhetken tarpeet sekä mukautuisi myös tulevaisuuden tarpeisiin.

Mikäli mobiilirobotit hankittaisiin usealta eri laitevalmistajalta, tulisi laitteiden väliseen ohjaamiseen ja kommunikointiin räätälöidä rajapinta tarpeellisilla ominaisuuksilla.

5.1.1 Tietoliikenneinfrastruktuurin kartoitus

Soveltuvuus selvityksen aikana käytetään jo olemassa olevaa koko kohdeyrityksen tehtaan kattavaa langatonta verkkoyhteyttä. Kyseinen verkko on sisäverkko, josta ei ole pääsyä internetiin. Internetiin pääsy ei ole rajoitus laitteen käytölle, joten kyseinen langaton verkko nähdään hyvin sopivana tälle ajanjaksolle. Langattoman verkon kuuluvuutta on tehostettu sijoittamalla tehtaalle useita langattomia yhteyspisteitä. Maksimaalisen kuuluvuusalueen varmistamiseksi yhteyspisteet on sijoitettu korkealle, tasaisin välimatkoin.

Seurantajakson ajaksi käyttöön otettava langaton verkko on salasanalla suojattu ja siihen on rajattu pääsy, mutta muilta osin verkossa ei ole soveltuvuus selvityksessä käytettävien laitteiden käyttöä estäviä rajoituksia. Verkon kuormitus ei tehdyn selvityksen perusteella ole ongelma ja verkkoon pystytään yhdistämään tarvittava määrä ohjauslaitteita sekä itse lavakuormia kuljettava laite.

5.2 Potentiaaliset käyttökohteet tuotantoympäristössä

Neljä potentiaalista käyttökohdetta on valittu tuotantoympäristön soveltuvuus selvitykseen. Kyseisten käyttökohteiden toteutuksen kelvollisuutta nykyiseen logistiikka- ja tuotantoympäristöön arvioidaan ja käyttökohteista selvitetään mm. liikkuvan materiaalin tai valmiiden tuotteiden määrät, työmäärät sekä etäisyydet. Käyttökohteen toteutettavuuden vaikuttaa vahvasti kuljetettavan materiaalin tai tuotteen tyyppi, joka voi tässä tapauksessa olla laatikko, lava, kärry tai näiden yhdistelmä. Siihen vaikuttavat myös muutostarpeiden määrät logistiikan prosesseihin ja tehtaan layoutiin. Seuraavassa taulukossa (ks. taulukko 11) on esitetty täydennetty versio luvun 3.6 mobiilirobottien arviointiperusteet -taulukosta. Täydennetyin taulukon perusteella voidaan tarkastella eri

valmistajien laiteperheiden soveltuvuutta esitettyihin neljään potentiaaliseen tuotanto-ympäristön käyttökohteeseen. Käyttökohteittain luodut taulukot esitetään luvussa 5.3. Käyttökohteen laskettu arvo muodostuu summasta (ominaisuudet, käytettävyys, kriittiset sekä muut), joka moninkertaistetaan käytettävien kuljetustapojen keskiarvolla laiteperhekohtaisesti.

Taulukko 11. Täydennetyt arviointiperusteet, johon on lisätty arvot väliltä 0 – 3 sekä painoarvot laiteperheittäin.

Kategoria	Arviointiperuste	Perhe A	Perhe B	Perhe C	Perhe D	Perhe E	Painoarvot
Kuljetus-tapa	Laatikko	3	2	2	0	3	1
	Lava	0	3	2	3	2	1
	Kärry	2	1	2	0	2	1
Ominai-suudet	Maksiminopeus	2	3	2	3	3	1
	Kantokyky	2	3	3	2	3	1
	Nostokorkeus	3	3	3	3	3	1
Käytettä-vyys	Akun kesto	3	3	3	3	3	1
	Akun latausno-peus	1	3	2	3	1	1
	Kommunikointi ja yhteydet	2	3	2	2	2	1,2
	Rajapinnat ja käyttöliittymät	3	3	2	2	3	1,2
	Ketteryys	3	3	3	2	2	1
Kriittiset	Turvallisuus	3	3	2	2	2	1,5
	Saatavuus	3	2	1	2	1	1,2
	Integroitavuus	1	3	1	1	1	1,5
	Toimintavarmuus	3	2	1	2	2	1,5
	Laajennettavuus	2	3	2	2	2	1,5
Muut	Leasing-mahdol-lisuus	3	3	3	3	3	1
	Referenssit	3	3	2	1	2	1

5.2.1 Käyttökohde 1: Lavakuormat

Lattiapaikkojen tulee olla kiinteitä sekä merkattuja, jotta mobiilirobotti pystyy nostamaan sekä laskemaan kuorman paikalleen. Tyhjien lavojen kuljettaminen ei ole tehokasta vain yhdellä laitteella, sillä se vaatii ylimääräisen matkan edestakaisin, joten se on tehokkaampaa toteuttaa tässä tapauksessa manuaalisesti. Käyttökohteen alueilla tulee myös välttää esteiden sijoittamista tuotantoympäristön kulkuväylille mobiilirobotin nopean ja tehokkaan toiminnan sekä tuotannon toimintavarmuuden takaamiseksi. Potentiaalisia lavakuormien käyttökohteita ovat:

- a) Komponenttien kuljetus materiaalivaraston kiinteältä lattiapaikalta lavoitain manuaalikokoonpanotiimin lattiapaikalle. Materiaalit on sijoitettu päätepisteessä kahteen kerrokseen, mutta toinen kerros voidaan ottaa pois käytöstä soveltuvuusselvityksen ajaksi tai käyttää puskurina. Mobiilirobotin avulla toteutetaan jatkuva materiaalin syöttö lattiapaikoille. Tyhjien lavojen kuljetus pois manuaalisesti → Toteutuskelpoinen.
- b) Valmiiksi pakattujen tuotteiden kuljetus lavakontissa manuaalikokoonpanotiimin lattiapaikalta lähettämön kiinteälle lattiapaikalle → Toteutuskelpoinen.
- c) Tyhjien lavakonttien kuljetus kiinteältä lattia-alueelta logistiikan lähettämön kiinteälle lattiapaikalle → Toteutuskelpoinen.
- d) Komponenttien kuljetus materiaalivaraston kiinteältä lattiapaikalta kokoonpanoautomaatin syöttöluukkujen lähettyville kiinteälle lattia-alueelle. Komponenttilavan nosto alueelta sekä syöttö kokoonpanoautomaattiin on toteutettava manuaalisesti, sillä syöttöluukun edessä on koroke ja lava on syötettävä sivusuunnasta → Toteutuskelpoinen.
- e) Sekalavojen (samalla lavalla useamman eri tilauksen tuotteita) kuljetus vastaanoton kiinteältä lattiapaikalta pakkaamon tai lähettämön kiinteälle lattiapaikalle. Käyttökohteen alueella on suuri määrä trukkien toimintaa. Trukit ajavat joko helposti mobiilirobotin päälle tai mobiilirobotin tuominen alueella hidastaa trukkien toimintaa ja tehokkuutta huomattavasti. Vaatisi liikaa muutoksia tehdaslayoutiin sekä prosessimuutoksia logistiikan varastoalueella → Hylätty.

5.2.2 Käyttökohde 2: Lavakuormat sekä laatikot

Yhdistelmäkuormien kuljetus mobiilirobotilla vaatisi paljon muutoksia tuotantoympäristöön johtaen toimintavarmuuden häiriintymiseen. Tämän vuoksi soveltuu paremmin simulointikohteeksi, kuin tuotantoympäristön soveltuvuusselvitykseen. Potentiaalisia yhdistelmäkuormien käyttökohteita ovat:

- a) Valmiiksi pakattujen (yksikköpakkaus) tuotteiden kuljetus sekalavoittain (samalle lavalle useamman eri tilauksen tuotteita) tiimeistä logistiikan puolelle pakattavaksi. Nykyprosessissa sekalavoja nostetaan trukkipuskien valitsemille maapaikeille ja lisäksi lava saatetaan nostaa korkealle. Logistiikan päässä ei ole käytössä ennalta määrättyjä paikkoja lavoille, joten toteutus häiritsisi liikaa logistiikan nykyprosessia sekä trukkien toimintaa alueella → Hylätty.
- b) Valmiiksi pakattujen (yksikköpakkaus) tuotteiden kuljetus laatikoittain tiimeistä logistiikan puolelle pakattavaksi. Nykyprosessi ei tue laatikoiden vientiä sellaiseen lähettämöön. Vaikka toteutus olisi mahdollinen vaatisi se paljon työtä sekä muutoksia. Muutosten myötä tulisi riskejä, myöhästymiä sekä riski toimintahäiriöistä → Hylätty.

5.2.3 Käyttökohde 3: Laatikot

Erittäin potentiaalinen simulointikohde evaluointia varten, sillä laatikoiden kuljetukseen vaadittavat infrastruktuurimuutokset, lisälaitteet ja kuljetinpätkät sekä muutokset tehdaslayoutiin ovat toteutettavissa ja arvioitavissa yksinkertaisemmin simuloimalla. Usean laitteen testaus todellisessa tuotantoympäristössä saattaa pitää sisällään huomattavia riskejä liittyen tuotannon toimintavarmuuteen sekä turvallisuuteen. Simuloinnin avulla voidaan riskittömästi arvioida testattavien laitteiden toimintaa todellista tuotantoympäristöä mukailevassa ympäristössä. Simuloimalla pystytään myös todentamaan tehtyjen muutosten toteutuksesta saatava lisäarvo. Potentiaalisia laatikoiden kuljetuksen käyttökohteita ovat:

- a) Materiaalien kuljetus muovilaatikoittain materiaalivarastosta kokoonpanoautomaatille kiinteään hyllyyn/kuljettimeen. Vaatisi hyvin paljon muutoksia infrastruktuuriin → Hylätty.
- b) Valmiiden tuotteiden kuljetus muovilaatikoittain kokoonpanoautomaatilta logistiikan varastoon tai jatkoprosessointiin. Vaatisi hyvin paljon muutoksia infrastruktuuriin → Hylätty.
- c) Komponenttien kuljetus muovilaatikoittain logistiikan varastosta manuaalikokoonpanotiimien kiinteille hyllyille/kuljettimille. Vaatisi hyvin paljon muutoksia infrastruktuuriin → Hylätty.
- d) Tyhjien muovilaatikoiden kuljetus manuaalikokoonpanotiimeistä takaisin logistiikan varastoon. Vaatisi hyvin paljon muutoksia infrastruktuuriin → Hylätty.
- e) Valmiiksi pakattujen tuotteiden (pienet kytkimet) kuljetus muovilaatikoittain manuaalikokoonpanotiimeistä lähettämöön tai logistiikan varastoon. Vaatisi hyvin paljon muutoksia infrastruktuuriin → Hylätty.

5.2.4 Käyttökohde 4: Keräilykärryt

Vaadittavat muutokset eivät kohdistu tehdaslayoutiin vaan pääasiassa nykyprosesseihin. Simulointi nähdään mahdollisena keräilykärryjen kuljetuksen osalta, erityisesti useamman mobiilirobotin simulointi. Potentiaalisia keräilykärryjen kuljetuksen käyttökohteita ovat:

- a) Materiaalien kuljetus keräilykärryittäin supermarketista kokoonpanotiimeihin. Olisi toteutettavissa, mutta tähän prosessiin on suunnitteilla lähitulevaisuudessa muutoksia. Mahdollisesti liian yksinkertainen käyttökohde → Hylätty.
- b) Tyhjien keräilykärryjen kuljetus kokoonpanotiimeistä takaisin supermarkettiin. Olisi ollut toteutettavissa, mutta tähän prosessiin on suunnitteilla lähitulevaisuudessa muutoksia. Mahdollisesti liian yksinkertainen käyttökohde → Hylätty.

5.3 Soveltuvin käyttökohde ja laitevalinta

Aiemmin esitetyistä neljästä erityyppisestä käyttökohteesta toteutuskelpoisin valitaan kohdeyrityksen tuotantoympäristöön. Käyttökohteen valinta perustuu soveltuvuusselvitykselle annettuihin kriteereihin nykyprosessien sekä tehdaslayoutin mukaan. Sopivimman käyttökohteen valinnan jälkeen voidaan arvioida kyseiseen käyttökohteeseen soveltuvin laite. Laitevalintaan vaikuttavat tekijät ovat listattuina arviointiperusteet-taulukkoon, johon on luvun 3.6 taulukkoon lisäyksenä täydennetty laiteperheen arviointiperusteita vastaavat arvot. Taulukossa 12 on esitetty käyttökohteiden 1 – 4 soveltuvuudet laiteperheittäin.

Taulukko 12. Laiteperheittäin potentiaalisten käyttökohteiden soveltuvuudet, jotka on saatu taulukon 11 arvojen sekä painoarvojen perusteella.

Käyttökohde	Perhe A	Perhe B	Perhe C	Perhe D	Perhe E
1: Lavakuormat	0	150,3	72	113,1	75,4
2: Lavakuormat sekä laatikot	0	125,25	72	0	94,25
3: Laatikot	129,3	100,2	72	0	113,1
4: Keräilykärret	86,2	50,1	72	0	75,4

Ensimmäisen käyttökohteen osiot a) – d) nähdään soveltuviksi toteuttaa tutkimuksen soveltuvuusselvityksessä, koska ne vaativat vähiten muutoksia nykyisiin logistiikkaprosesseihin sekä tehdaslayoutiin, joka nähdään erittäin positiivisena tekijänä käyttökohteen valinnassa. Kuljetettavat materiaalit ja tuotteet ovat lavoilla, joten ensisijainen valintaperuste on laitteen kyky kuljettaa lavoja tehokkaasti. Valitulle käyttökohteelle ja laitteelle suoritetaan seuraavassa luvussa riskianalyysi, joka on jaettu turvallisuusriskeihin sekä tuotannon toimintavarmuuteen liittyviin tuotannon riskeihin.

Käyttökohteiden soveltuvuustaulukon 12 perusteella valitaan lavakuljetin laiteperheestä B käytettäväksi soveltuvuusselvitykseen. Tämä laite erottui edukseen muista etenkin laajennettavuuden ja integroitavuuden helppouden sekä rajapintojen ja käyttöliittymien käytettävyyden osalta. Laite B oli myös ainoa, joka ei vaatinut ulkoista ohjausjärjestelmää tai suuria muutoksia nykyprosesseihin ja tehdaslayoutiin. Laite valittiin kuljettamaan

lavakuormia valittuun käyttökohteeseen 1, mutta se olisi taulukon 13 perusteella valittu myös lavakuormien sekä laatikoiden kuljettamiseen käyttökohteeseen 2. Valittu laite vuokrataan soveltuvuus selvitykseen kolmen viikon ajaksi kaikilla laitteeseen saatavilla turvallisuusominaisuuksilla.

5.4 Riskianalyysi

Tutkimuksessa toteutettavan tuotantoympäristön soveltuvuus selvityksen mahdolliset riskit selvitetään riskianalyysin sekä riskinarvioinnin avulla. Nämä molemmat hyväksytään kohdeyrityksen turvallisuuspäälliköllä alustavan suunnitelman yhteydessä. Riskianalyysin perusteella voidaan havaita ongelmakohtia tuotantoympäristön valmiudessa jo ennen soveltuvuus selvityksen alkua, jolloin näihin ongelmakohtiin voidaan puuttua hyvissä ajoin.

Laitetta varten luodaan soveltuvuus selvityksen ajaksi lattiatason väliaikaislavapaikkoja määrättyihin sijainteihin, jolloin hyllymuutoksia ei tarvita. Laitteen saapuessa tehtaalle suoritetaan käyttöönottotarkastus, määrittelyt ja muut tarkastukset. Laitteen pohjapiirrokseen luodaan hidastus sektoreita alueisiin, joissa on havaittu korkea määrä trukkiliikennettä. Lisäksi laitteen maksiminopeutta rajoitetaan turvalliseen käyttönopeuteen tuotannon seurantajakson ajaksi. Laitteen tulee hidastaa myös risteyskohdissa, joten hidastus sektoreita sijoitetaan myös näille alueille.

Seurantajakson ajaksi määritellään turvallisuudesta sekä laitteen toiminnasta ja ohjauslaitteista vastaavat henkilöt, jotka ovat puhelimitse tavoitettavissa. Lisäksi määritellään logistiikan vastuuhenkilöt materiaalien sekä valmiiden tuotteiden kohdalla tapahtuvien manuaalisten siirtojen toteuttamiseen. Latausalue merkitään turva-alueeksi, joten henkilöstön pääsyä alueelle rajoitetaan. Myös lavapaikkojen alueet merkitään ja nimetään. Riittävä valaistus varmistetaan laitteen toiminta-alueilla. Palosammutin ja sammutuspeite sijoitetaan laitteen latausaseman läheisyyteen. Soveltuvuus selvityksen käyttökohteiden henkilöstölle järjestetään tiedotus, ohjeistus ja koulutus laitteen toiminnasta sekä

ohjauslaitteiden käytöstä. Tilaisuuteen osallistuvat niin tiimien työntekijät kuin logistiikan puolen vastaanoton ja lähettämön työntekijät. Tehtaan sisäänkäynneille sijoitetaan tiedote meneillään olevasta koeajasta laitteen seurantajakson ajaksi.

Riskinarvioinnissa keskitytään selvittämään laitteen käyttöön liittyviä riskejä ja niiden aiheuttajia tuotantoympäristössä. Tämän lisäksi selvitetään riskikohtaisesti nykytilanne, kyseisen riskin todennäköisyys ja vakavuus sekä riskin taso (0 – 5). Riskin taso määritetään riskitasomatriisilla, jossa yhdistetään riskin todennäköisyys sekä riskin vakavuus. Havaituille riskeille annetaan myös toimenpide-ehdotus riskin ennaltaehkäisemiseksi. Turvallisuutta ja tuotannon toimintavarmuutta käsittävä riskinarviointi hyväksytetään esimiehellä sekä turvallisuuspäälliköllä. Riskinarviointi sekä riskitasomatriisi ja sen selitteet esitetään liitteessä 1.

5.5 Soveltuvuusselvitys tuotannossa

Tutkimuksen päätavoitteina ovat tuotantoympäristössä toteutettava soveltuvuusselvitys, siitä saadut tulokset sekä simuloinnin avulla suoritettava evaluointi. Soveltuvuusselvitys koostuu yksittäisen lavoja kuljettavan mobiilirobotin kolmen viikon mittaisesta seurantajaksoista tuotantoympäristössä. Seurantajakson tuloksia ja havaintoja läpikäydään ja analysoidaan tarkemmin luvussa 6. Seuraavaksi esitellään seurantajakson suunnitelma sekä erikseen ensimmäisen viikon sekä toisen ja kolmannen viikon kulku.

5.5.1 Seurantajakson suunnitelma

Soveltuvuusselvitys lavakuormia kuljettavalle laitteelle valitussa käyttökohteessa suunnitellaan nykyiseen järjestelmään, joten nykytilanteen rajoitukset otetaan vahvasti huomioon suunnittelussa. Tehtaan käytävien kulkusuunnissa ja rajoituksissa noudatetaan samoja sääntöjä kuin aiemmin trukeilla. Laitteen kulkua varastojen välissä sekä vastaanoton että lähettämön puolella rajoitetaan, eli näitä alueita ei käytetä mahdollisena

reittinä laitteelle. Materiaalien noudoissa on kuitenkin pakollista mennä varastoalueelle, mutta laitteen pääsy materiaalien noutopisteiden ulkopuolisille logistiikan alueille estetään, jolloin trukeilla on enemmän tilaa ja vapautta liikkua logistiikan puolella ja itse laite pystyy liikkumaan turvallisesti pääasiassa tuotannon puolella. Laitteen pääasialliseksi alueeksi määritellään tuotannon käytävät sekä vain pakolliset pienet alueet logistiikan varaston ja lähettämön puolella.

Laitteen latauspaikka määritetään turvalliselle alueelle, josta vaadittava virta latauspisteelle on saatavissa. Lisäksi varmistetaan, ettei tällä alueella ole pääsääntöisesti muuta liikennettä. Latauspaikan ympäristö on rajattu varoitusteipillä sekä varoitusnauhalla ja rajaustolpilla. Latauspisteen sähköjohdot on suojattu valmistajan toimesta. Latauspaikan valinnassa sijainnin turvallisuuden lisäksi painotetaan myös sen läheisyyttä useimmin toistuviin nouto- ja vientikohteisiin. Latauspaikka toimii myös taukopaikkana laitteelle silloin kun kuljetustehtäviä ei ole. Latauspaikan sijainti, suojaus ja saatavuus on erityisen tärkeää sillä laite tulee viettämään suuren osan ajasta tällä alueella. Tuotannon seurantajakson aikana sekä sammutuspeite että palosammutin ovat saatavissa kahdessa paikassa n. 10-25 metrin etäisyydellä latauspaikasta. Lisäksi saatavilla on ensiapulaukku n. 10 metrin etäisyydellä latauspaikasta.

Laite sekä ohjauslaitteet yhdistetään osaksi olemassa olevaa langatonta verkkoyhteyttä, jonka kuuluvuus on laitteen toiminta-alueella hyvä. Käyttökohteiden tiimeihin, vastaanottoon ja lähettämöön sijoitetaan tarvittava määrä Android-tabletteja, jotka yhdistetään samaan langattomaan verkkoon laitteen kanssa. Näiden tablettien avulla kytetään sekä ohjaamaan laitteen toimintaa että tarkastelemaan laitteen sijaintia ja tilaa. Ohjauslaitteet ovat kytkettynä verkkovirtaan koko seurantajakson ajan. Laitteen ohjaamista varten tableteille on suunniteltu kutsunappeja vastaava näkymä, jonka avulla tietty tehtävä saadaan lisättyä työjonoon. Tuen ja etäavun osalta laitteessa on laitevalmistajan asentama laitteisto, jonka avulla valmistaja saa laitteeseen etäyhteyden tarvittaessa.

Laite ei tule olemaan yhteydessä varastohallintajärjestelmään tuotannon seurantajakson aikana, joten materiaalinkulutus toteutetaan automaattisesti seurantajakson laitteelle määritetyiltä uusilta lavapaikoilta. Materiaalinkulutuksen osalta tulee toimia erittäin tarkasti juuri tästä syystä. Vaikka laitteen lokiin jääkin tieto suoritetuista tehtävistä täytyy tämän tiedon kulkea myös varastohallintajärjestelmään kuljetusten alku- tai loppuvaiheessa. Lavojen nouto ja vienti tapahtuu lattiatasolta ennalta määritellyiltä lavapaikoilta, joiden alueet ovat sekä merkittyjä että nimettyjä selvyyden vuoksi. Materiaalin vienti laitteelle määritetyille noutopaikoille on vastaanoton vastuuhenkilöiden vastuulla ja valmiiden tuotteiden vienti laitteelle määritetyiltä vientipaikoilta on lähettämön vastuuhenkilöiden vastuulla. Näille paikoille tuodaan tarvittava materiaali laitteen käyttöön sekä viedään laitteen tuomat valmiit tuotteet manuaalisesti trukeilla loppusijoituspaikoille. Tämä järjestely on voimassa vain tuotannon seurantajakson ajan.

Käytössä on vain yksi lavakuormia kuljettava laite, joten akun kesto, latausten aikaväliä ja kesto sekä työtehtävien suorittamiseen kulunutta aikaa tulee seurata. Laitteesta itsestään saadaan haettua tuotannon seurantajakson aikana sekä sen päätyttyä tiedot tehdyistä kuljetuksista, kuten tehtävään kulutettu aika ja kuljettu matka. Tietojen avulla pystytään arvioimaan laitteen reitinvalintaa sekä vasteaikaa vienti- ja tuontitehtävissä.

Tiimien ja logistiikan työntekijöitä ohjeistetaan siitä, miten toimia laitevikojen, laitevaurioiden ja laitteen kuittauksen vaativien ongelmien tapauksissa. Soveltuvuusselvitystä varten luodut materiaalit esitetään työnjohtajien vetämissä tiimipalaverissa. Esitysmateriaalit koskien tiedotus-, ohjeistus ja koulutusasioita sekä soveltuvuusselvitystä ovat saatavilla työnjohtajilla sekä vastuuhenkilöillä ja tarvittaessa niistä voidaan tulostaa tietoa infotauluille työntekijöille, joilla ei muuten ole pääsyä materiaaliin.

Laitteen käyttöönottoon liittyvien tarkastusten jälkeen tuotannon seurantajakson ensimmäisellä viikolla luodaan pohjapiirros, johon valmiiksi hahmotellut nopeusrajoitussektorit sekä toimintasektorit sijoitetaan. Lavapaikkojen sijainnit tehtaalla ovat valmiiksi määriteltynä ja ne sijoitetaan pohjapiirrokseen vastaaville paikoille. Jokainen lavapaikka,

käytävä ja alue testataan useaan kertaan ennen varsinaisten tehtävien toteuttamista. Jokaisen lavapaikan kohdalla on tiedossa kuljetustehtävien määrät per vuoro, jolloin voidaan hahmottaa yhden vuoron aikana suoritettavien tehtävien arvioitu määrä sekä kuormitus laitteelle. Kerätyistä etäisyys- ja aikatiedoista saadaan tehdyille kuljetustehtäville myös vasteajat, joita voidaan verrata vastaavien tehtävien vasteaikoihin trukkien kohdalla.

Seurantajakson toisella ja kolmannella viikolla suoritetaan kuljetustehtäviä ohjauslaitteilta saatujen käskyjen mukaisesti. Laitteen kapasiteettia, tehokkuutta ja toimintavarmuutta seurataan aktiivisesti koko seurantajakson ajan. Tavoitteena on aluksi käyttää laitetta yhdessä vuorossa ja myöhemmin useassa vuorossa mahdollisuuksien mukaan. Vastuuhenkilöt määrättyihin manuaalisiin kuljetustehtäviin määritellään vuorokohtaisesti. Kuljetustehtävien määrää kasvatetaan tasaisesti toisen ja kolmannen viikon aikana. Laitteen käyttöastetta saadaan kasvatettua kuljetustehtävien määrää kasvatettaessa tasaisesti, ilman että sen kapasiteetti ylitetään, joka edellyttää, ettei useampaa työtehtävää aseteta työjonoon samanaikaisesti.

5.5.2 Seurantajakson ensimmäinen viikko

Seurantajakson ensimmäisen viikon teemana olivat laitteen määrittelyt sekä käyttöönottoon liittyvät valmistelut. Lavakontista purkamisen jälkeen ensimmäinen tehtävä oli laitteen yhdistäminen kohdeyrityksen tehtaan langattomaan verkkoon. Verkkomäärittelyn jälkeen otettiin yhteys laitteen käyttöliittymään ja päästiin muokkaamaan laitteen määrittelyjä. Turvanopeudeksi säädettiin 1 m/s ja hidastussektoreiden kohdalla 0,6 m/s. Pohjapiirros tehtaasta opetettiin laitteelle ajamalla sitä manuaalisesti ennalta määritetyillä käytävillä. Tämä määritetty alue toimi seurantajakson ajan laitteen sallittuna alueena. Pohjapiirrokseseen luotiin myös estetyt alueet, rajoitetut alueet sekä toimintasektorit. Toimintasektoreiden tehtävä oli pääasiassa toimia hidastusalueena tai tarvittaessa estää kulku toimintasektorin alueen läpi. Näitä toimintasektoreita sijoitettiin tehtaan

käytävien risteyskohtiin sekä logistiikan varastoalueen läheisyyteen missä trukkiliikenne on voimakkainta.

Latauspaikan suojaus varmistettiin ja latauspiste kiinnitettiin tehtaan lattiaan kiinni ohjeiden mukaisesti. Tuotannon huoltotiimiä ohjeistettiin erikseen laitteen lataukseen ja ongelmatilanteisiin liittyvistä asioista, kuten laitteen hinauksesta trukilla sekä manuaalisesta latauksesta tarvittaessa. Lavapaikat määriteltiin käyttökohteittain, jonka jälkeen jokaisen luodun lavapaikan määrittelyt testattiin lavakuorman kanssa. Ohjauslaitteita varten määriteltiin valmiit käskyjonot, jotka suorittavat tehtäväkokonaisuuden lisäyksen työjonoon napin painalluksella tehtäväkohtaisesti. Jokaisen kokoonpanotiimin ohjauslaite määriteltiin erikseen kyseisen tiimin kuljetustehtävien mukaisesti. Näiden ohjauslaitteiden lisäksi tiimien alueille sijoitettiin myös muutamia ylimääräisiä tabletteja, joiden avulla voitiin tarkastella laitteen sijaintia ja tilaa reaaliajassa.

Laitteen kuljetettavana oli sekä eurolavoja ($80 \times 120 \text{ cm}$) että FIN kuormalavoja ($100 \times 120 \text{ cm}$). Laitteen turvarajat asetettiin turvallisuussyistä leveämmän FIN kuormalavan mukaiseksi. Tämän asetuksen vuoksi täytyi pohjapiirroksen sallittujen käytävien rajat määritellä seinien mukaisesti hyvin tarkasti. Tällä varmistettiin, että laite mahtui kulkemaan kaikilla määritetyillä käytävillä ongelmitta myös esteiden ilmestyessä reitille. Muutoksia ja hienosäätöjä pohjapiirrokseen tehtiin koko ensimmäisen viikon ajan, kunnes laite toimi halutulla tavalla eikä laitteen navigoinnissa ollut havaittavissa enää uusia ongelmia. Muutokset testattiin ajamalla laitetta automaattisesti muutetuilla alueilla ja asettamalla dynaamisia esteitä kulkureittien varrelle. Lavoihin ja lavapaikkoihin tehtiin pieniä muutoksia tarvittaessa etenkin, jos havaittiin ongelmia, jotka saattaisivat aiheuttaa kuljetustilanteessa vahingon. Tällaisia olivat mm. huonokuntoiset lavat.

Ensimmäisen viikon päätteeksi oli tarkoitus suorittaa testiajo kaikille käyttökohteille ja varmistua laitteen toiminnasta ennen varsinaisen seurantajakson aloittamista. Tätä ei kuitenkaan voitu tehdä loppuviikosta havaitun sensoriongelman vuoksi. Tässä turvalaitteen ongelmatilanteessa laite siis toimi kuten vastaavissa tilanteissa kuuluukin, eli se ei

suostunut liikkumaan mihinkään suuntaan automaattisesti. Laite pystytettiin kuitenkin turvallisesti siirtämään latauspaikalle manuaaliohjauksella laitteen ollessa huoltotilassa. Tarvittavat varaosat saatiin tilattua laitevalmistajalta heti toisen viikon ensimmäisille päiville. Määriteltyjen käyttökohteiden kuljetustehtävien suorittaminen voitiin aloittaa heti huoltotoimenpiteiden valmistuttua.

5.5.3 Seurantajakson toinen ja kolmas viikko

Seurantajakson toinen viikko alkoi ensimmäisellä viikolla havaitun sensoriongelman selvityksellä. Vaadittavat toimenpiteet suoritettiin, jotta laite saatiin takaisin käyttöön. Laite asetettiin suorittamaan määriteltyjä tehtäviä automaattisesti, jonka aikana pystytettiin seuraamaan laitteen toimintaa ja muuttamaan laitteen määrittelyjä tarpeen mukaan. Toisen viikon aikana tehtiin muutamia muutoksia laitteen toimintaan automaattisista kuljetustehtävistä saatujen tietojen perusteella. Kapeiden hyllyväliä sekä kapeiden käytävien määrittelyjä muutettiin ja hidastussektoreiden ja sallittujen käytävien rajoja laajennettiin. Kuljetustehtäviin luotiin ohjelmallisesti sääntöjä sekä logiikkaa kuljetuksessa tapahtuvien virhetilanteiden käsittelemiseksi sekä virheiden minimoimiseksi erikoistilanteissa. Näillä keinoilla pyrittiin varmistamaan tuotannon toimintavarmuus sekä kuljetusten tehokkuus virhetilanteista tai ongelmista riippumatta.

Lavapaikkojen sijainteja pohjapiirroksessa hienosäädettiin, jotta voitiin varmistaa lavo-kuormien tehokas kuljetus ilman ylimääräisiä viivästyksiä. Tuotantolinjojen sekä logistiikan työntekijöitä tiedotettiin sekä ohjeistettiin laitteen määrittelyjen muuttuessa sekä kuljetettavien kuormien tai laitteen käyttöön liittyvien tekijöiden muuttuessa. Näillä keinoin pyrittiin varmistamaan laitteen käytön helppous materiaalin tai valmiin tuotteen kuljetuksia tilatessa. Päivittäin sekä viikon päätteeksi voitiin tarkastella vienti- ja tuonti-tehtäviin liittyviä tietoja, joiden perusteella voitiin selvittää mm. yksittäisten tehtävien vasteaikoja ja matkattuja etäisyyksiä. Vasteaikojen avulla mahdollistettiin kuljetustehtävien tehokkuuden arviointi ja vertailu.

Toisen viikon aikana havaittiin tehtävää suorittaessa laitteen törmäys kuormaa kuljettaneen trukin kuorman kanssa. Trukin kuorma oli jäänyt laitteen lisäensensoreiden kuolleen kulmaan eikä korkealla trukkiپیکیککین päässä sijainnutta kuormaa havaittu ennen törmäystilannetta. Laite havaitsi kuitenkin heti törmäystilanteessa kasvaneen kuormituksen moottorissa ja perääntyi paikalta. Trukki oli törmäyshetkellä paikallaan ja laitteen tilannenopeus oli erittäin matala eikä laitevaurioita tai omaisuusvahinkoja syntynyt. Tämän lisäksi toisen viikon päätteeksi yksi laitteen ajoyksiköistä jumiutui, jolloin laite oli pysähdyksissä ongelman korjaantumiseen asti. Ajoyksikön virhetilan syyksi selvisi latauspaikan vieressä sijaitsevalta komponenttien testausalueelta käytävälle vierinyt mutterin ja metallilevyn yhdistelmä. Este kiilautui ajoyksikön ja lattian väliin aiheuttaen ajoyksikössä häiriötilan. Ongelma saatiin selvitettyä sammuttamalla laite, vapauttamalla ajoyksikkö ja poistamalla este. Laitteelle suoritettiin ongelmatilanteen jälkeinen tarkastus, jonka jälkeen se voitiin asettaa takaisin tuotantokäyttöön.

Laite oli käytössä seurantajakson toisen viikon virallisesti alkaessa ensin puoli aamuvuoroo, jonka jälkeen siirryttiin ajamaan laitteen kuljetustehtäviä kokonaisen aamuvuoron ajan. Aamuvuoron kuljetustehtävistä saatujen tietojen ja havaintojen pohjalta laitteen täysipäiväiselle käytölle ei tämän jälkeen nähty esteitä. Laitetta päätettiin kuitenkin varmuuden vuoksi ajaa seurantajakson toisen viikon loppuun asti vain aamu- ja iltavuorossa. Laite oli käytössä ympärivuorokautisesti kolmannen viikon alusta aina seurantajakson loppuun asti hoitaen ohjauslaitteilta määritellyjä kuljetustehtäviä.

Kuljetustehtävien päivittäismäärä kasvoi tasaisesti seurantajakson loppua kohden laitteen ollessa käytössä useammassa vuorossa. Tuotantolinjoilla valmistettavien tuotteiden muuttuessa pyrittiin etsimään vastaavia kuljetustehtäviä seurantajakson ajalle suunniteltujen kuljetusmäärien ylläpitämiseksi. Seurantajakson toisen ja kolmannen viikon aikana suoritettiin lisäksi aamuisin silmämääräinen tarkastus laitteelle sekä sensorien puhdistus laitteen toimintavarmuuden takaamiseksi. Tapahtuneita virhetilanteita ja huomioita sekä tehtaan työntekijöiltä saatuja ehdotuksia ja huomioita kirjattiin ylös koko seurantajakson ajan myöhempää tarkastelua varten.

5.6 Mobiilirobottilaivueen simulointi

Usean samassa tilassa yhtäaikaisesti liikkuvan mobiilirobotin toiminnan ja tehokkuuden arviointi todettiin tutkimuksen kannalta soveltuvimmaksi toteuttaa simuloimalla. Simuloinnissa kuvataan kohdeyrityksen tuotantoympäristön tilannetta viiden vuoden päästä, jolloin kuljetustehtäviä on tehostettu hyödyntämällä useita mobiilirobotteja. Tulevaisuuden tilannetta kuvatessa on otettava huomioon tuotannon volyymin kasvu sekä samassa suhteessa kasvavien kuljetettavien laatikoiden määrät. Materiaalit sekä valmiit tuotteet kuljetetaan simuloinnissa pelkästään laatikoissa ja käytössä on laatikoita käsittelevä automaattivarasto sekä tavarantoimitus- että vastaanottopäässä. Mobiilirobotit kykenevät noutamaan työjonon tehtävässä määritellyn laatikon suoraan varastoautomaatin noutopisteeltä.

Simulointi toteutetaan Visual Components -simulointiohjelmalla, joka on suunniteltu tuotannon simulointiin. Ohjelmalla voidaan toteuttaa esim. yksittäisten robottisolujen, mobiilirobottien, tuotantolinjojen tai koko tehtaan laajuisia simulointeja halutulla tavalla. Ohjelmasta löytyy suuri määrä erilaisia em. laitteita ja näiden laitteiden toiminnallisuudet ovat laajalti muokattavissa suoraan ilman erillistä ohjelmointia. Ohjelmaan pystytään myös tarpeen vaatiessa lisäämään Python-ohjelmointikielisiä koodipätkiä, joiden avulla voidaan muuttaa ennalta määriteltyjä toimintoja tai luomaan erikoistoimintoja.

Simulointiympäristö pyritään luomaan mahdollisimman todenmukaiseksi ja tarkaksi käyttämällä kohdeyrityksen tehtaasta saatavilla olevaa mallinnusta. Todellisuudessa mobiilirobottien toiminnan tehokkuuteen vaikuttaisivat negatiivisesti erilaiset esteet, laiteviat ja muut osatekijät. Simuloinnissa ei myöskään saada mallinnettua monien laitevalmistajien käyttämän laivueenhallintajärjestelmän tuomia hyötyjä. Simuloinnissa pyritään kuitenkin mahdollisuuksien mukaan tekemään ratkaisuja mobiilirobottien toiminnan tehokkuuden sekä älykkyyden lisäämiseksi.

Simuloinnissa toteutetaan kahdeksan eri kokoonpanotiimin materiaalien ja valmiiden tuotteiden toimitukset mobiiliroboteilla. Lisäksi mobiiliroboteilla kuljetetaan tarvittaessa

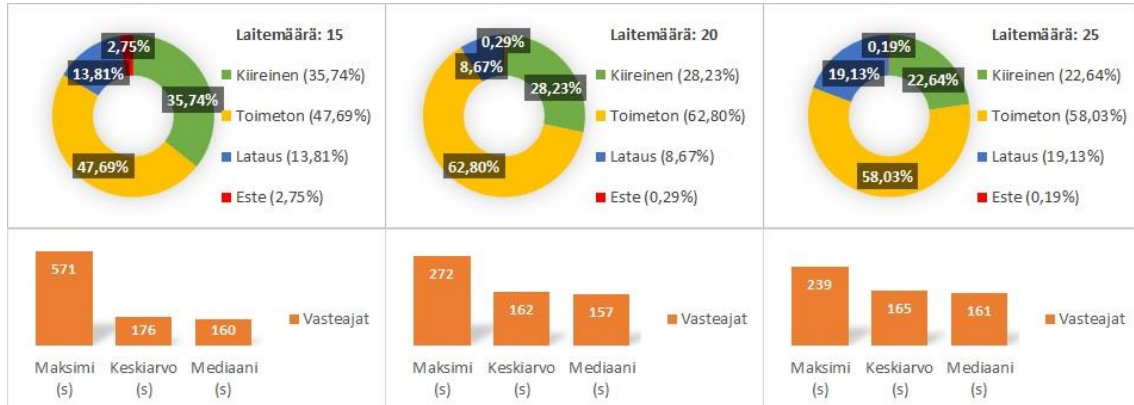
myös viiden päällekkäisen tyhjän laatikon kuljetuksia tiimien alueilta vastaanottavalle varastoautomaatille. Laatikoiden haku- ja jättöpisteisiin on sijoitettu mobiiliroboteille suunniteltu rullakuljetinpatkka, jonka avulla mobiilirobotit kykenevät hakemaan ja jättämään kuljetettavia laatikoita haluttuun pisteeseen. Simuloinnin tarkoituksena on mitata ja arvioida mobiilirobottilaivueen toimintaa ja tehokkuutta tuotannossa eri keinoin. Simuloinnin avulla voidaan myös osoittaa mobiilirobottien tuotantoympäristöön sekä logistiikkaan tuoma lisäarvo. Simuloinnista saatujen tulosten avulla pystytään esittämään suuntaa antavia arvoja laatikkoliikenteen määrille varastoautomaattien kohdalla. Nämä määrät voivat osoittautua hyödyllisiksi varastoautomaatin käyttöönottoa suunnitellessa.

Simuloinnissa mitattavia ominaisuuksia yksittäisestä mobiilirobotista ovat vasteaika, latausaika, toiminta-aika sekä toimettona vietetty aika. Näitä arvoja mitataan yksilötasolla, jonka perustella saadaan mobiilirobottilaivueen keskiarvot sekä suhteelliset osuudet koko simulointijakson ajalta. Vasteajoista selvitetään erikseen maksimin, keskiarvon sekä mediaanin keskiarvot jokaisen tehdyn simulaation kohdalla. Näiden arvojen pohjalta pystytään määrittelemään tarvittava mobiilirobottien lukumäärä sekä saadaan analysoitua simuloinnissa tehtyjen muutosten vaikutusta mobiilirobottien toimintaan ja tehokkuuteen.

5.6.1 Evaluointi

Evaluoinnin simulaatioiden kestot olivat yhden vuoron verran eli kahdeksan tuntia. Evaluointia varten tehdyn testisuunnitelman ensimmäinen vaihe mobiilirobottimäärien valinnalle suoritettiin lähettämällä kaikki laivueen mobiilirobotit liikkeelle paikasta, joka toimi laitteiden tauko- ja latauspaikkana. Kyseinen ajo suoritettiin laitemäärillä 15, 20 ja 25 (ks. kuva 6). Simuloinnin layoutin kuvassa (ks. kuva 7) vasemmalle reunalle sijoittuivat mobiilirobottien vierekkäiset taukopaikat, kahteen osaan jaettu varastoautomaatti materiaaleille (yhteensä neljä hakupaikkaa), tyhjien laatikoiden vientipaikka sekä varastoautomaatti valmiille tuotteille (neljä jättöpaikkaa). Kuvassa 7 on eriteltyä myös kaikki

kahdeksan tiimiä, mobiilirobottien hajautetut taukopaikat sekä simuloinnin aikaisen mobiilirobottiliikenteen heatmap.



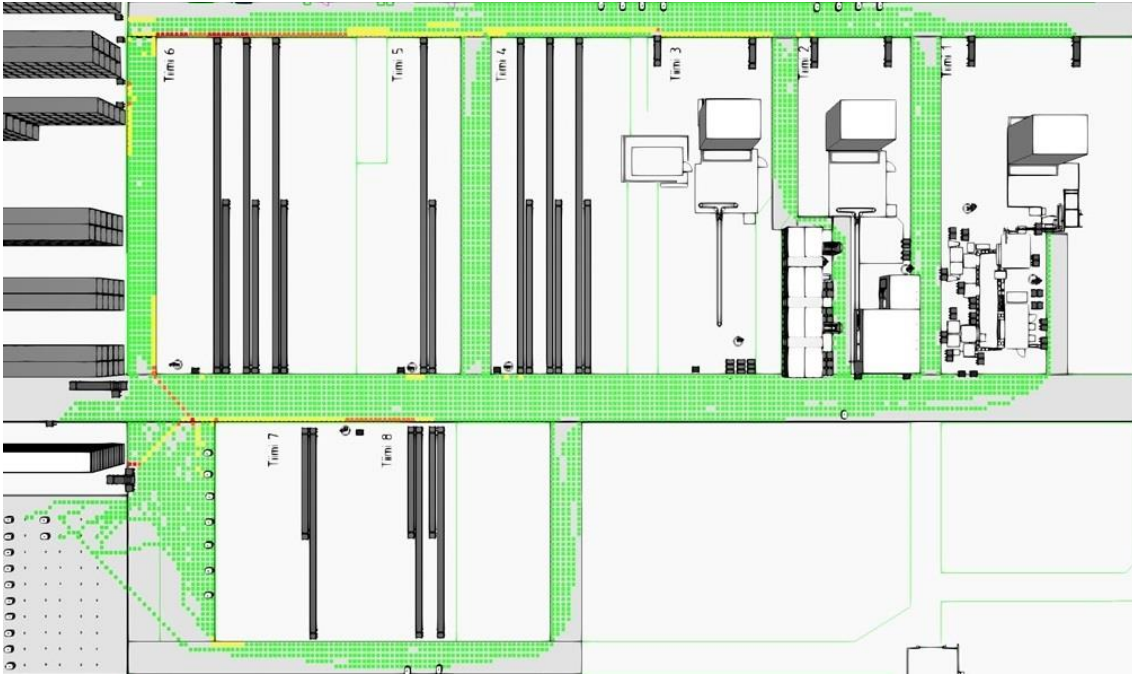
Kuva 6. Vierekkäisten taukopaikkojen tulokset laitemäärillä 15, 20 sekä 25 ja näissä eriteltyinä laivueen aktiviteetit sekä vasteaikojen keskiarvot.

Latausajan osuuden vaihtelut kokonaismäärästä selittyivät simulointien alussa tehdyllä laitekohtaisten latausmäärien satunnaistamisella. Simulointitulokset hylättiin viiden prosenttiyksikön esteen tai kolmenkymmenen prosenttiyksikön latausajan ylittyessä. Ensimmäisten tulosten perusteella (ks. kuva 6) havaittiin hyvin pitkiä vasteaikoja varsinkin pienemmillä laitemäärillä sekä oletetusti selkeä hyödyntämisen väheneminen laitemäärien kasvaessa. Lisäksi havaittiin lähes 200 laatikon myöhästymä kahden jälkimmäisen ajon kohdalla sekä lähes 300 laatikon myöhästymä ensimmäisen ajon kohdalla verrattuna taulukon 13 mukaisiin materiaalien ja valmiiden tuotteiden laatikkomääriin yhden vuoron, eli kahdeksan tunnin aikana. Kaikki mobiilirobotit lähtivät kuvan 6 tilanteissa materiaalien varastoautomaatin takaa (ks. kuva 7).

Taulukko 13. Kahdeksan tunnin aikaiset laatikkomäärät materiaalien ja valmiiden tuotteet osalta, joihin simulointien kuljetusmääriä verrataan.

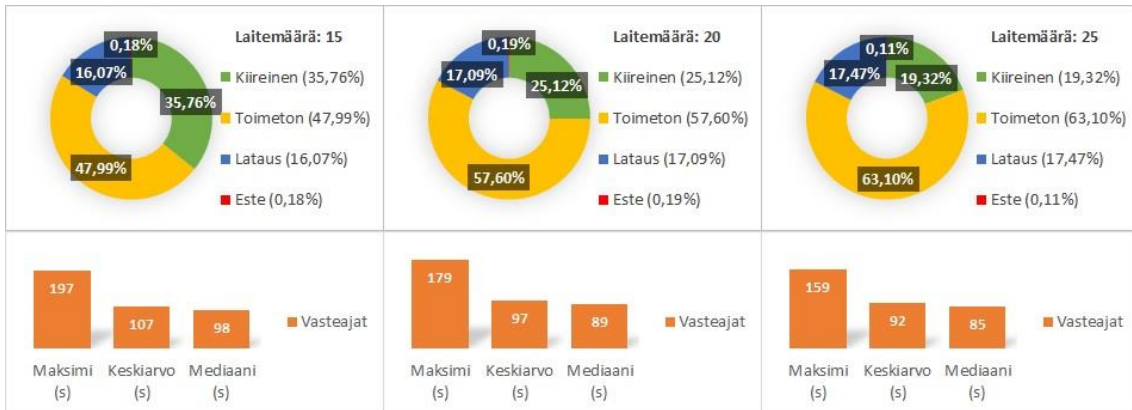
Laatikot tiimeittäin	Materiaalit (kpl)	Valmiit tuotteet (kpl)
Tiimi 1	91	62
Tiimi 2	92	308
Tiimi 3	58	252
Tiimi 4	145	145
Tiimi 5	134	134
Tiimi 6	133	133
Tiimi 7	30	30
Tiimi 8	240	240
Yhteensä	923	1304

Taulukon 13 laatikkomäärät perustuvat lavaliiikenteen määrien pohjalta laskettuihin laatikkomääriin, jotka ovat osittain settikeräiltyjä. Tämän lisäksi laatikkomääriä on kasvatettu n. 30% vastaamaan tulevaisuuden volyymien kasvua tehtaalla. Tyhjiä laatikoita kuljetetaan viiden laatikon korkuisissa pinoissa ja hakukäskey toteutuu aina vasta viiden tyhjän laatikon pinon ollessa täysi. Simuloinnin loppuvaiheessa tästä on seurauksena useita noutamattomia, vajaissa pinoissa olevia tyhjiä laatikoita, jotka kasvattaisivat kokonaisyöhästymää. Tästä syystä tyhjien laatikoiden myöhästymää ei oteta huomioon kokonaisyöhästymien osalta simulointituloksia tarkastellessa. Määrällisesti tyhjiä laatikoita syntyy yhden vuoron aikana sama määrä kuin materiaalilaatikoita, mutta laatikkopinojen noutoja suoritetaan vain viidesosa materiaalien laatikkomäärästä eli n. 185 kpl.



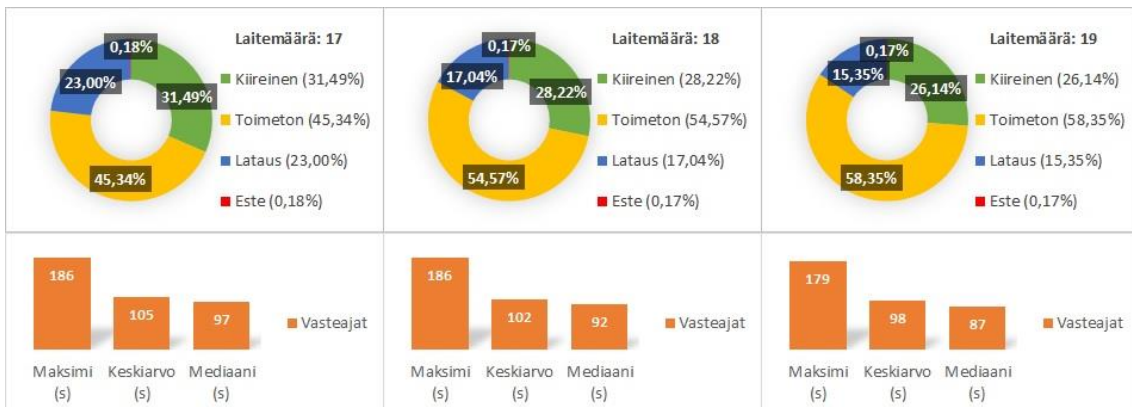
Kuva 7. Mobiilirobottien simulointitilanne, jossa näkyvät nouto- ja vientipisteet, taukopaikat sekä mobiilirobottiliikenteen heatmap.

Testisuunnitelman toinen vaihe mobiilirobottimäärien valinnalle suoritettiin samoilla laitemäärillä (15, 20 ja 25) lähettämällä kaikki mobiilirobotit hajautetuilta paikoilta, jotka toimivat sekä niiden taukopaikkana että latauspaikkana. Hajautetut paikat olivat simuloinnissa jokaisen mobiilirobotin käytettävissä, mutta vain yksi laite sai olla tietyllä hajautetulla paikalla samanaikaisesti. Saatujen tulosten perusteella (ks. kuva 8) voitiin havaita erittäin suuri tehokkuuden kasvu erityisesti vasteaikojen ja esteen osuuden pienentymisen kautta. Selkein viite strategisesti sijoitettujen taukopaikkojen tuomasta tehokkuudesta oli myöhästymien aleneminen keskimäärin 30 laatikkoon laitemäärästä riippumatta. Hyödyntämisen osuuden tavoitearvoksi asetettiin tähän mennessä saatujen tulosten pohjalta 30%, joten seuraavaan vaiheeseen laitemääriä haarukoitiin väliltä 15 ja 20. Kaikki kuvan 8 simulointien jälkeiset ajot toteutettiin selkeästi tehokkaammaksi toteutulla hajautetulla lähtötavalla.



Kuva 8. Hajautettujen taukopaikkojen tulokset laitemäärillä 15, 20 sekä 25 ja näissä eriteltynä laivueen aktiviteetit sekä vasteaikojen keskiarvot.

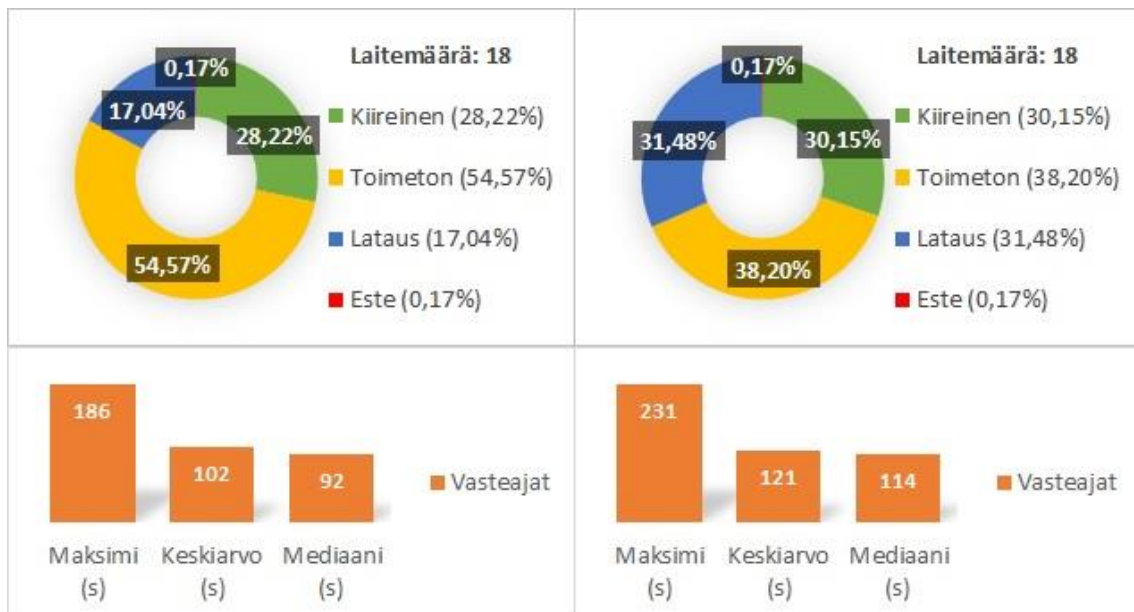
Mobiilirobottimäärien valinnan kolmas vaihe suoritettiin hajautetuilta paikoilta tarkemmillä laitemäärillä. Valitut tarkemmat laitemäärät olivat kuvan 8 tulosten mukaisesti 17, 18 ja 19 (ks. kuva 9). Hyödyntämisen osuudelle määriteltiin tavoitearvo 30%. Erot vasteajoissa laitemäärän 18 molemmin puolin olivat minimaalisia ja kyseinen laitemäärä oli kuvan 9 laitemääristä lähimpänä optimitilanteelle annettuja tavoitteita.



Kuva 9. Hajautettujen taukopaikkojen tulokset laitemäärillä 17, 18 sekä 19 ja näissä eriteltynä laivueen aktiviteetit sekä vasteaikojen keskiarvot.

Optimaalisen laitemäärän valinnassa tärkeää oli myös pahimman mahdollisen tilanteen tarkastelu hyödyntämisen osuuden ja vasteaikojen osalta, erityisesti vasteaikojen maksimien osalta. Kuvan 10 vasemmanpuoleinen tilanne on tulos kuvan 9 laitemäärästä 18, johon pahinta mahdollista tilannetta vertaillaan. Oikeanpuoleinen tilanne taas kuvastaa

pahimman mahdollisen tilanteen vaikutuksia saman laitemäärän kohdalla. Tämä pahin mahdollinen tilanne potentiaaliselle optimilaitemäärälle (ks. kuva 10) saatiin aikaiseksi alustamalla kyseisen ajon mobiilirobottien akkujen varaustasot alkutilanteessa erityisen heikoiksi.



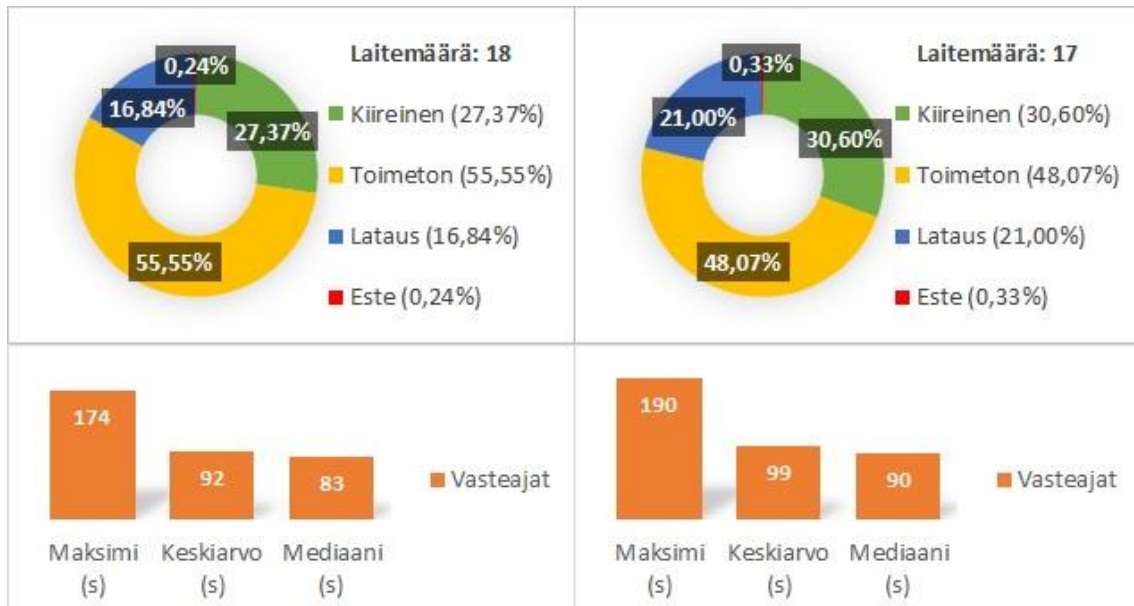
Kuva 10. Hajautettujen taukopaikkojen tulokset optimitilanteen sekä pahimman mahdollisen tilanteen kohdalla.

Pahimman mahdollisen tilanteen kohdalla havaittiin vasteaikojen maksimien keskiarvossa n. 24%:n kasvu. Lähes samansuuruinen kasvu nähtiin myös vasteaikojen keskiarvojen keskiarvon sekä vasteaikojen mediaanien keskiarvon kohdalla. Simuloinnin onnistumisen lisäksi optimimäärän valinta edellytti simulointituloksilta myös vasteaikojen, hyödyntämisen osuuden sekä laitemäärien optimitilannetta. Nämä kriteerit täyttyivät kuvan 10 laitemäärän kohdalla. Kyseiset tulokset olivat lisäksi ääriolosuhteisiin nähden varsin hyvät, joten näiden tulosten ja havaintojen pohjalta voitiin todeta mobiilirobottien optimilukumääräksi 18.

Simuloinnin loppuvaiheessa nähtiin hyödylliseksi eritellä mahdolliset erikoistilanteet tai virheitä aiheuttavat tilanteet. Ensimmäisenä näistä oli yhden vertailuajon sekä yhden laskennallisesti vähennetyn laitemäärän ajo ilman tiettyä osaa tiimin 2 materiaaleista.

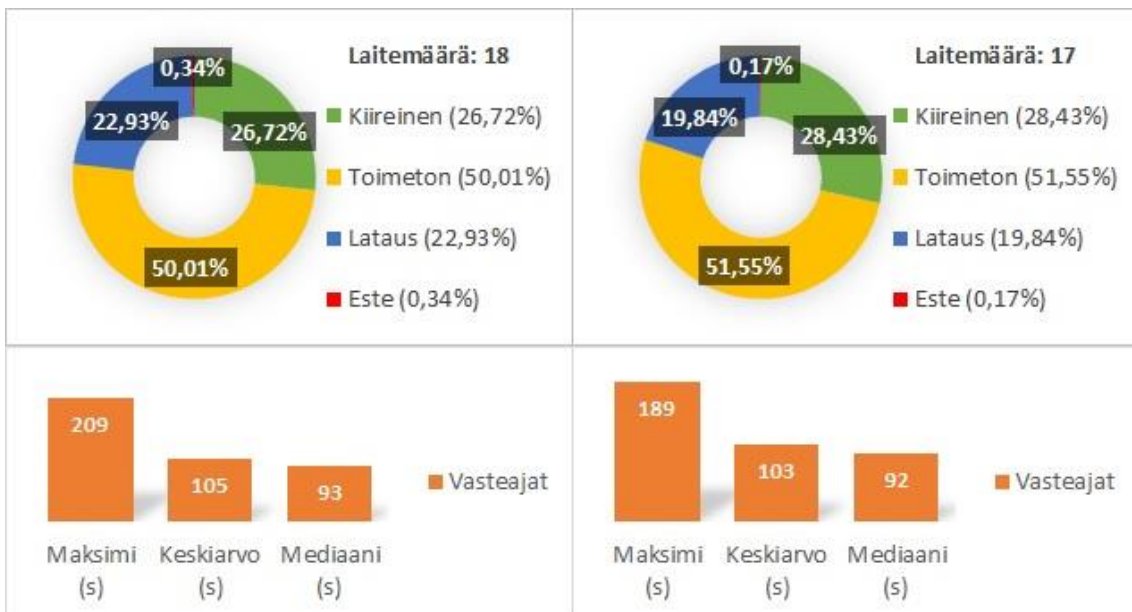
Kyseisten materiaalien muutos lavakuormista laatikoihin nähtiin kohdeyrityksessä lähitulevaisuudessa hyvin epätodennäköiseksi, joten ylimääräisen ajon avulla voitiin selvittää kyseisen tiimin vaikutus olennaisilta osin simuloinnin tuloksiin, ja samalla mahdollisesti havainnollistaa laatikoihin siirtymisen hyötyjä. Laskennallisesti pois jätettävien materiaalien määrä oli 44 laatikkoa, jonka osuus kokonaismäärästä (ml. materiaalit, valmiit tuotteet sekä tyhjät laatikot) on n. 1,8%. Tämä vastasi n. 0,3 mobiilirobotin tarvetta pelkästään kyseiseen tehtävään, joten vertailuksi otettiin sekä optimilaitemäärä 18 että laitemäärä 17 (ks. kuva 11).

Saatujen tulosten perusteella voitiin havaita, että laskennallisesti vähennetty määrä ja osuus kokonaisuudesta ovat valideja. Kuvan 10 optimimäärä (vasen kuvaaja) istui sopivasti kuvan 11 kuvaajien väliin vasteaikojen ja hyödyntämisen osuuden perusteella. Tiimin 2 pois jätetty osuus materiaalien laatikkomäärästä ei ollut merkittävä osuus kokonaismäärästä eikä täten myöskään suuresti kuormittava tekijä mobiilirobottilaivueelle. Se nähtiin näin ollen hyvin toteutuskelpoisena muutoksena tulevaisuudessa, kohdeyrityksen mahdollisuudet kyseiseen muutokseen huomioiden.



Kuva 11. Tulokset ilman tiimi 2 materiaalien kuljetusta optimilaitemäärän sekä laskennallisesti vähennetyn laitemäärän kohdalla.

Testisuunnitelman loppuvaiheen toinen erikoistilanne oli tyhjien laatikoiden nouto ja kuljetus takaisin materiaalien automaattivarastolle. Tavoitteena tyhjien laatikoiden vertailuajoon sekä laskennallisesti vähennetyn ajoon oli selvittää, onko tehokkaampaa kuljettaa trukeilla tyhjiä laatikkopinoja kuormalavojen päällä vai hyödyntää mobiilirobotteja tyhjien laatikkopinojen kuljettamiseen. Tyhjien laatikkopinojen kuljetus ei saisi merkittävästi vaikuttaa mobiilirobottien lukumäärään, eikä myöskään kasvattaa vasteaikoja merkittävästi. Tyhjien lavapinojen kuljetusten määrä oli aiemman laskelman mukaisesti n. 185 kpl, jolloin näiden kuljetusten osuus kokonaismäärästä oli n. 7,7%. Tämä vastasi n. 1,4 mobiilirobotin tarvetta pelkästään tyhjien laatikoiden kuljettamiseen. Kuvan 12 laitemääräksi valittiin pyöristetty laitemäärän vähennys optimilaitemäärästä, jolloin tarkasteltavana simuloinnin viimeisissä tuloksissa olivat mobiilirobottien lukumäärät 18 ja 17.



Kuva 12. Tulokset ilman tyhjien laatikoiden kuljetusta optimilaitemäärän sekä vähennetyn laitemäärän kohdalla.

Tulosten pohjalta (ks. kuva 12) voitiin havaita tyhjien lavojen vaikutuksen olevan n. yhden mobiilirobotin verran. Laskettu lukumäärä sekä kuvan 12 (oikea) lukumäärän 17 vastaus kuvan 10 (vasen) optimimäärään 18 tukivat tätä väitettä. Kuvan 12 tulosten pohjalta voitiin todeta yhden ylimääräisen mobiilirobotin lisäyksen laivueeseen mahdollistavan lähes tuhannen tyhjän laatikon tehokkaan haun tuotannosta kahdeksan tunnin aikana.

Tämä yksittäinen ylimääräinen mobiilirobotti voisi pienentää myös osaltaan vasteaikoja usean samanaikaisen kuljetustarpeen syntyessä, koska simulointitulosten perusteella laitemääriä kasvatettaessa vasteajat pienentyivät.

Vaikkei aitoa älykästä laivueenhallintajärjestelmää simuloinnissa päästykään toteuttamaan, pystyttiin kuitenkin hajautettuja tauko- ja latauspaikkoja hyödyntämällä mobiilirobottilaivueen älykkyyttä ja tehokkuutta kasvattamaan huomattavasti. Erot simulointituloksissa kuvien 6 ja 8 välillä olivat huomattavat. Nämä tulokset viittasivat hajautettujen paikkojen tuomaan selkeään tehokkuuden ja tuottavuuden kasvuun, joiden kautta mobiilirobottien hyödyntämisen tuomaa lisäarvoa päästin tarkastelemaan entistä paremmin.

Simuloinnin avulla voitiin arvioida suuren mobiilirobottilaivueen toiminnan tehokkuutta, sekä havaita laitteiden tuomia hyötyjä ja älykkyyttä tuotannon logistiikkaprosesseihin. Vasteaikoja saatiin pienennettyä huomattavasti kasvattamalla mobiilirobottien lukumääriä, mutta tällöin myös yksittäisen mobiilirobotin hyödyntämisen osuus kokonaisuudesta laski. Simulointi nähtiin toimivaksi ratkaisuksi mobiilirobottien toiminnan ja tehokkuuden arviointiin sekä laitteiden tuoman lisäarvon selvittämiseen. Vasteaikojen, hyödyntämisen osuuden sekä mobiilirobottien lukumäärien optimointi nähtiin tärkeänä simuloinnin onnistumisen kannalta.

Tärkeimmät havainnot evaluoinnin pohjalta:

- Simulointi on riskitön keino muutosten vaikutusten tarkasteluun.
- Älykkään laivueenhallintajärjestelmän ja tehtäväkohtaisen optimoinnin sekä priorisoinnin tärkeys korostuu erityisesti laivueen koon kasvaessa.
- Laitteiden lukumäärän lisäyksellä saavutettavat merkittävät vasteaikojen lyhennykset vähentyvät huomattavasti lähestyessä 30% hyödyntämistä.
- Laivueen koon kasvaessa (erityisesti optimitilanne) saadaan entistä laajempia tehtäviä lisättyä mukaan entistä pienemmällä laitteiden lukumäärän lisäyksillä tinkimättä vasteajoista.

6 Tulokset

Seurantajakson aikana tehtiin kolme selkeää turvallisuuteen liittyvää havaintoa ensimmäisen kahden viikon aikana: sensoriongelma, laitteen törmäys toiseen kuormaan sekä ajoyksikön virhetila. Virhe- ja riskitilanteiden syntyminen seurantajakson aikana nähtiin jo suunnitteluvaiheessa mahdollisena ja tästä syystä laitteen maksimi- ja tilannenopeudet laskettiin riittävän alhaisiksi koko seurantajakson ajaksi. Tämän rajoituksen lisäksi painotettiin vahvasti ohjeistuksen ja tiedotuksen tärkeyttä ennen seurantajakson alkamista. Laitte toimi nopeusrajoituksista huolimatta kuljetustilanteissa tehokkaasti sekä ihmisen kohdatessaan turvallisesti, joten seurantajakson aikana ei nähty tarpeelliseksi muuttaa nopeusrajoituksia. Tuotantoympäristön nopeusrajoitusten optimointi nähtiin tärkeäksi varsinkin turvallisuuden kannalta, mutta myös kuljetusten tehokkuuden kannalta.

Kolmannella viikolla ei ilmennyt turvallisuuteen liittyviä havaintoja laitteen ollessa jatkuvassa käytössä koko seurantajakson viimeisen viikon ajan. Toteutettujen siirtojen määrät myös kasvoivat seurantajakson edetessä, suurimpien siirtomäärien ajoituessa aamulle, aamupäivälle sekä loppuillalle. Laitteen käyttö- ja kuljetusmäärien kasvaessa havaittiin turvasensoreiden likaantumisen tai pölyntymisen väijäämätön riski tuotantoympäristössä. Tämä saattaisi aiheuttaa ongelmia varsinkin sensoreiden sijaitessa lattiatasolla, mikäli turvasensoreita ei puhdisteta aika-ajoin.

Seurantajakson aikana selvitettiin trukkien kuljetuksien suuntaa antavia vasteaikoja vertailuksi lavakuljettimen suorittamille tehtäville. Kuljetusten vasteajat haettiin SAP-järjestelmästä useamman kuukauden ajalta trukkien osalta ja käyttöliittymän työjonosta seurantajakson ajalta laitteen osalta. Tietojen pohjalta selvisi trukkien kuljetuksien kestojen vaihtelevan kymmenistä minuuteista useampaan tuntiin. Lavakuljettimen osalta kuljetustehtävien kesto oli n. 3 – 10 minuuttia, muutamaa yksittäistä poikkeustilannetta lukuun ottamatta, jotka syntyivät pääasiassa ongelmatilanteiden yhteydessä. Työtehtävien aikana kuljettu matka vaihteli 86 metrin ja 316 metrin välillä. Laitteen kannalta vasteaikoihin vaikuttivat merkittävästi suunnitelman mukaiset maksiminopeuden rajoitukset yleisesti sekä alueittain. Seurantajakson ajan käytössä ollut laite nähtiin erittäin

potentiaaliseksi toteuttamaan ja automatisoimaan logistiikan ja tuotannon välisiä kuljetustehtäviä, jolloin trukkien tehtävät sijoittuisivat pääasiassa vain logistiikan puolelle. Trukkien tehtäväksi jäisi hyllyttää ja siirtää tavaroita, kun taas lavakuljetin toisi ja hakisi kuormia määritetyille alueille. Tuotannon käytävien trukki liikennettä saataisiin vähennettyä huomattavasti lisäten turvallisuutta tehtaalla, samalla myös siirtoja tehostaen.

Tehtävien priorisointi voi osoittautua hyödylliseksi varsinkin, jos laitteen mahdollisia työtehtäviä on useita. Työtehtävien moninaisuuden ja määrän kasvaessa kasvaa samassa suhteessa myös mobiilirobottien käyttöaste, lisäten tarvetta priorisoinnin optimoinnille. Priorisointia voitaisiin toteuttaa esim. kuljetustehtävien välisen etäisyyden priorisoinnilla, jos saatavilla on useampia laitteita. Tällöin pienempi etäisyys saisi suuremman prioriteetin työjonossa olevien työtehtävien keskuudessa. Jos taas käytössä olevien mobiilirobottien lukumäärä on pienempi, voitaisiin painottaa vahvemmin tehtävän luomisajankohtaa, jolloin kauan työjonossa olleet tehtävät priorisoidaan ennen uusia tehtäviä, vaikka uusi tehtävä olisikin lähempänä. Tällä saataisiin varmistettua, ettei kauempana sijaitsevia työtehtäviä jätetä jatkuvasti prioriteetiltaan alimmiksi. Kriittisten työtehtävien priorisointia tulisi painottaa varsinkin tilanteissa, joissa etäisyyden priorisointia on kasvatettu tai vähennetty huomattavasti. Mobiilirobottien tehtävien priorisointiin ja optimointiin liittyvät asiat vaativat jatkuvia muutoksia nykytilanteen muuttuessa, joten määrittelyiden muokattavuuden helppoutta on hyvä painottaa laitevalinnassa.

Seurantajakson ajan käytössä ollut laite vastaanotettiin erittäin avomielisesti sekä logistiikan että tuotannon työntekijöiden osalta. Laitteen toimintaan liittyviä kysymyksiä heräsi paljon ja niihin pyrittiin vastaamaan mahdollisimman kattavasti. Tuotannon ja logistiikan työntekijät olivat kiinnostuneita laitteen toiminnan ja rajoitusten lisäksi myös jatkosuunnitelmista laitteen osalta. Logistiikan työntekijöille annetut vastuutehtävät seurantajakson ajalle, kuten väliaikaislavapaikkojen täyttö materiaalien osalta sekä väliaikaislavapaikkojen tyhjäys valmiiden tuotteiden osalta toteutettiin onnistuneesti. Myös kohdeyrityksen työntekijöiden toimesta tehtyjä ehdotuksia laitteen mahdollisille lisätehtäville esitettiin useita, mm. tyhjien lavapohjien vientiä tiimeihin, romulavojen vientiä

tiimeistä, roska-astioiden vientiä ulko-ovien lähettyville sekä keräilykärriin kuljettamista määritellysti.

Ehdotettujen pienten ja yksinkertaisten lisätehtävien ajastaminen ja suorittaminen olisi ollut mahdollista toteuttaa tehtävien ohessa, mutta vähäisen tilan vuoksi sekä järjestyksistä näitä tehtäviä ei voitu toteuttaa. Seurantajakson aikataulun puitteissa toteutettiin kuitenkin pienimuotoinen kokeilu ja selvitys keräilykärriin kuljettamisen mahdollisuudesta, jonka pohjalta todettiin nykyisten keräilykärriin kuljettamisen laitteella onnistuvan kärriin vähäisillä rakennemuutoksilla. Lavakuormien kuljettamisen lisäksi laitteella olisi ollut mahdollista kuljettaa myös laatikoita, mutta tätä ei nähty tutkimuksen kannalta tarpeellisena, sillä laatikkojen kuljetus saatiin selvitettyä kattavasti simuloinnin avulla.

Seurantajakson ja simuloinnin pohjalta koottiin useita kattavia kustannusarviota erilaisista laitekokonaisuuksista. Kustannusarvioiden perusteella voitiin verrata simuloinnin realisoinnin kustannuksia tilanteisiin, joissa kuljetukset toteutettiin erilaisilla lava-, laatikko- tai kärriin kuljettimien yhdistelmillä. Kustannusarvioita esitettiin mm. nykytilanteeseen istuville mobiilirobottijärjestelmille sekä laajoja tuotantoympäristön muutoksia vaativille järjestelmille, joissa otettiin huomioon myös arvio muutoksien aiheuttamista lisäkustannuksista. Muutamalle potentiaalisimmalle laitekokonaisuudelle esitettiin myös takaisinmaksuajat, jotka olivat hyvin kohtuullisia. Kyseiset laitekokonaisuudet vaihtelivat yksittäisestä laitteesta koko tehtaan kattavaan laitekokonaisuuteen. Takaisinmaksuaikojen ohella näille laitekokonaisuuksille esitettiin myös leasing-hinnoittelu, sillä tätä pidettiin todennäköisimpänä vaihtoehtona mobiilirobottien hankintaa ajatellen.

6.1 Tulevaisuuden näkymät ja jatkotutkimuskohteet

Mobiilirobottien käyttö logistiikkaprosessien tukena etenkin tuotannon sisälogistiikassa tulee yleistymään tulevina vuosina, sillä logistiikan tehokkuutta pyritään parantamaan jatkuvasti. Mobiilirobottien tehokkuus kuljetustehtävissä sekä niiden tuoma lisäarvo on

nähty jo globaalisti ja myös Suomessa. Tarvittavien mobiilirobottilaivueiden koot tulevat kasvamaan suhteessa kasvavaan kapasiteettiin yrityskohtaisesti, jolloin olemassa olevien mobiilirobottilaivueiden optimointi tulee olemaan suuressa roolissa. Tuotantoympäristön toiminnan ja mobiilirobottilaivueen mukaisesti luotu rajattu reaaliaikainen simulointimalli antaa mahdollisuuden tarkastella muutosten vaikutusta riskittömästi ennen muutospäätöksen tekemistä. Tällöin korjauksia tuleviin muutoksiin ehditään vielä tekemään ennen niiden toteuttamista, jolloin muutokset toteutuvat todennäköisemmin halutulla tavalla ja muutoksia pystytään halutessa testaamaan todenmukaisessa tilanteessa. Simulointi soveltuu mobiilirobottien käyttöönoton suunnitteluun hyvin ja se nähdään myös kustannustehokkaana lähestymistapana selvittäessä laitteiden määriä ja tarvetta.

Mahdollisena tutkimuskohteena mobiilirobottien tehokkuuden ja tuottavuuden osalta nähdään useamman kuukauden mittainen seurantajakso tuotantoympäristössä, jonka aikana voidaan tarvittaessa tehdä muutoksia tuotantolinjoihin tai tehdaslayoutiin. Tarpeen vaatiessa voidaan myös muuttaa mobiilirobottien määrää seurantajakson aikaisessa laivueessa. Pitkäjänteisen testauksen avulla kyetään hahmottamaan kokonaiskuva ja muutostarve paremmin sekä saamaan arvokasta tietoa mm. laitteiden toiminnasta ja huollon tarpeesta sekä laitteiden tuomasta lisäarvosta pidemmällä aikavälillä.

Potentiaalisena tutkimuskohteena nähdään myös laatikko-, lava- ja kärrykuljettimien yhteistestaus tuotantoympäristössä. Laitteet voivat tarpeen vaatiessa olla myös eri laitevalmistajilta, kunhan ne operoivat eri puolella tehdasta eivätkä niiden reitit kohtaa. Mikäli laitteet operoivat samalla alueella, tulee niiden toimintaa ohjata ja valvoa vaaratilanteiden välttämiseksi sekä ratkaista laitteiden kohtaamisesta syntyvät ongelmatilanteet. Eri puolilla tehdasta operoivien mobiilirobottien kohdalla näitä ongelmia ei synny, sillä eri valmistajien laitteiden välisiä kohtaamisia ei tapahdu. Ensimmäisen valmistajan laite voisi kuljettaa valmiita tuotteita logistiikan varastoalueelle, kun taas toisen valmistajan laite voisi huolehtia materiaalin kuljettamisesta tuotantolinjoille. Kuljetettavat kuormat voivat olla ensimmäisen valmistajan laitteen kohdalla vaikkapa lavakuormia ja toisen valmistajan kohdalla laatikoita tai kärryjä tai molempia. Näillä keinoin voidaan

valita soveltuvimmat mobiilirobotit kohdeyrityksen eri käyttökohteisiin yrityksen tarpeiden mukaan lukittumatta pelkästään yhden valmistajan tuotevalikoimaan.

Räätälöity REST-rajapinta, jota päästiin testaamaan toisen kokeilujakson yhteydessä, todettiin hyvin mahdolliseksi toteuttaa tuotantoympäristössä. Kyseisen rajapinnan ensiversion toteutukseen ei kulunut muutamaa päivää enempää, joten kyseessä on varsin helposti testattava rajapinta. Kyseinen rajapinta toimisi laitteiden ja varastohallintajärjestelmän yhdistämisen tukena, jolloin laitetta ei tarvitsisi erikseen kutsua vaan se saisi tehtäväkäsänsä materiaalien ja valmiiden tuotteiden kuittauksen yhteydessä. Seuraavana vaiheena kyseisen rajapinnan toteutuksen ja toiminnallisuuden varmistamiselle voisi olla tuotannon testijakso, jonka aikana REST-rajapintaa testattaisiin yhden tai useamman mobiilirobotin ja varastohallintajärjestelmän välillä. Saatujen tulosten perusteella kyseistä rajapintaa voitaisiin parannella ja päivittää sekä testata lisää pidemmällä aikavälillä.

6.2 Muutosehdotukset

Muutosehdotuksia ja huomioita seurantajakson pohjalta olivat mm. huonokuntoisten lattiapintojen aktiivinen seuranta ja korjaus tarvittaessa, jotta välttyään mahdollisilta laitevaurioilta. Käytävien reunat tulisi pitää tyhjänä tehokkaan toiminnan varmistamiseksi ja ajolinjojen selkeyttämiseksi, lisäksi tärkeää on myös nopean ja vakaan verkkoyhteyden varmistaminen suunniteltujen laitemäärien perusteella, jotta laitteen käytönaikaisissa yhteyksissä ei tapahtuisi katkoksia. Vaikka tutkimuksen laite ei ollutkaan yhteydessä varastohallintajärjestelmään, nähtiin mobiilirobottien ja varastohallintajärjestelmän välisen yhteyden huolellinen suunnittelu kuitenkin hyvin tärkeänä.

Mikäli jatkossa tullaan käyttämään lavakuormia kuljettavia laitteita, tulisi huonokuntoisista lavoista luopua ja lavojen tulisi olla turvallisuussyistä EPAL-lavoja. Laatikkoja kuljettavien laitteiden osalta rullaratapätkien ja nostinpätkien suunnittelu haku- ja jättöpäissä tulisi tehdä tulevaisuuden mahdolliset muutokset huomioon ottaen mukautuviksi.

Kulutusosien ja kriittisten varaosien säilytys sekä varastointi tulisi toteuttaa toimintavarmuuden takaamiseksi. Lisäksi tulisi varmistua huollon ja etätuen valmiudesta sekä tarvittaessa kouluttaa oma henkilöstö kyseisiin tehtäviin.

7 Johtopäätökset

Tutkimuksessa vertailussa olivat viiden eri valmistajan mobiilirobottien laiteperheet sekä niiden ominaisuudet, jonka lisäksi otettiin tuotannon testiympäristöön kokeilujakson ajaksi kaksi selkeästi erityyppistä mobiilirobottimallia. Soveltuvimmalle laitteelle suoritettiin suunnitelman mukaisesti tuotannon soveltuvuus selvitys. Lisäksi toteutettiin evaluointi tuotantoympäristön pohjalta mallinnetun simuloinnin avulla. Toteutuksessa painotettiin logistiikkaprosessien tehokkuuden ja tuottavuuden kasvattamista.

Toteutuksen perusteella voitiin todeta mobiilirobottien vähentävän materiaalien ja valmiiden tuotteiden kuljetusten vasteaikoja huomattavasti. Vasteaikojen vähentymisen myötä voitiin nähdä mahdollisena tuotannon puskureiden vähentäminen sekä tätä kautta 5S-konseptin ja lean-mallin mukaisen toiminnan mahdollistuminen tehtaalla. Mobiilirobottien arvioinnissa käytetyistä ominaisuuksista tärkeinä pidettiin kuljettimen soveltuvuutta ja muunneltavuutta käytettävien pakkausosien osalta sekä rajapintojen yhteensopivuutta ja käyttöliittymien helppokäyttöisyyttä.

Kohdeyrityksessä painotettiin vahvasti turvallisuutta sekä toimintavarmuutta varsinkin muutoksien tai uusien laitteiden hankinnan yhteydessä. Yhtenä tärkeänä osatekijänä onnistumiselle pidettiin mobiilirobotin vakaata ja kattavaa yhteyttä langattomaan verkkoon, jonka avulla yhteys rajapintojen, muiden laitteiden sekä mahdollisesti myös muiden mobiilirobottien välillä saataisiin varmistettua. Syynä langattoman verkkoyhteyden vaatimukseen olivat pääasiassa kohdeyrityksen korkeatasoiset turvallisuusprotokollat tietoliikenneinfrastruktuurissa.

Tutkimuksessa luotu malli mobiilirobottien kartoitukseen ja vertailuun sekä kohdeyrityksen logistiikka- ja tuotantoympäristön kartoitukseen on toteutettavissa yleisellä tasolla mobiilirobottien käyttöönoton tukena. Tämä malli soveltuu parhaiten kohdeyrityksen kaltaisiin organisaatioihin. Kohdeyrityksen ulkoiset vaatimukset sekä kohdeyrityksen sisäiset tekijät ja rajoitukset tulee selvittää tarkasti ennen esitetyn mallin hyödyntämistä. Mobiiliroboteille määritettyjen kriteerien täyttymisen myötä olisi mahdollista toteuttaa

näiden laitteiden integrointi ja käyttöönotto kohdeyrityksen tuotantoympäristössä onnistuneesti. Mobiilirobottilaivueen laajentaminen olisi myös mahdollista toteuttaa simuloinnista saatujen tulosten perusteella sekä kuljetustehtävien määrien tai tarpeen kasvaessa.

Tutkimuksen tavoitteet saavutettiin ja mobiilirobottien käyttöönotto olisi mahdollista toteuttaa näiden ratkaisujen sekä ehdotettujen muutosten avulla. Tutkimuksen pohjalta todettiin, että mobiilirobottien integraatioon sekä käyttöönoton suunnitteluun tulisi varata riittävästi ihmisresursseja sekä aikaa. Simulointia on mahdollista käyttää suunnittelun tukena, jolloin sen avulla pystyttäisiin vähin riskein perustelemaan tarvittavien mobiilirobottien lukumäärät, tarve sekä tyypit kohdeympäristössä. Mobiilirobottien kulusosien sekä toimintavarmuuden kannalta kriittisiä varaosia tulisi varastoida tehtaan tiloissa riittävässä määrin, jotta häiriöaika väistämättömän laitevian sattuessa saataisiin minimoitua.

Kustannusarvioiden ja takaisinmaksuaikojen pohjalta koottiin esitys, jonka perusteella mobiilirobottien käyttöönotto jollakin ehdotetuista laitekokonaisuuksista nähtiin mahdolliseksi toteuttaa kohdeyrityksen vaatimusten ja rajoitusten mukaisesti. Tulokset, havainnot ja laskelmat nähtiin erittäin kattaviksi ja ne toimivat vankkana pohjana tuleville mobiilirobotiikan tutkimuksille sekä pidempiaikaisille seurantajaksoille.

Seuraavaksi esitetään ratkaisuja ja vastauksia johdantoluvussa esiteltyyn päätutkimuskysymykseen sekä kahteen muuhun tutkimuskysymykseen:

”Miten tuotannon logistiikkaprosesseja voidaan tehostaa hyödyntämällä mobiilirobotteja?”

- Mobiilirobottien käyttö lisää logistiikkaprosessien tehokkuutta, dynaamisuutta ja joustavuutta tukien tehtaan lean-mallista tuotantoa ja 5S-konseptia.

”Mitkä ominaisuudet ovat kriittisiä kohdeyrityksen tuotantoympäristössä käytettäville mobiiliroboteille?”

- Kriittisimpiä ominaisuuksia mobiiliroboteille kohdeyrityksen tuotantoympäristössä ovat turvallisuus, toimintavarmuus, integroitavuus, saatavuus sekä laajennettavuus.

”Minkälaisia hyötyjä mobiilirobottien käyttöönotosta voidaan saavuttaa?”

- Mobiilirobottien avulla voidaan älykkäästi automatisoida materiaalivirtoja, kasvattaa kuljetusten tehokkuutta sekä parantaa kuljetusten vasteaikoja vapauttaen aiemmin sidottuja resursseja muihin työtehtäviin.

Lähteet

- AGILOX Systems GmbH (2019a). AGILOX IGV:n valmistajan viralliset tuotesivut. Noudettu 2019-10-30 osoitteesta <http://agilox.net/en/agilox-igv>
- AGILOX Systems GmbH (2019b). Company | Agilox – Intelligent Guided Vehicles. Noudettu 2019-12-2 osoitteesta <http://agilox.net/en/unternehmen>
- Andersen, R.E, Hansen, E.B., Cerny, D., Madsen, S., Pulendralingam, B., Bøgh, S., & Chrysostomou, D. (2017). Integration of a Skill-based Collaborative Mobile Robot in a Smart Cyber-physical Environment. *Procedia Manufacturing*, 11, 114-123. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.209>
- Arana, G.D., Hafez, O.A., Joerger, M., & Spenko, M. (2019, toukokuu). *Recursive integrity monitoring for mobile robot localization safety*. Esitetty IEEE International Conference on Robotics and Automation, 20.-24.5.2019. Montreal, Kanada. <https://doi.org/10.1109/ICRA.2019.8794115>
- Babic, B., Miljkovic, Z., Vukovic, N., & Antic, V. (2012). Towards Implementation and Autonomous Navigation of an Intelligent Automated Guided Vehicle in Material Handling Systems*. *Iranian Journal of Science and Technology. Transactions of Mechanical Engineering*, 36(M1), 25-40. <http://urn.fi/URN:ISSN:2228-6187>
- Bačík, J., Ďurovský, F., Biroš, M., Kyslan, K., Perduková, D., & Padmanaban, S. (2017). Pathfinder-Development of Automated Guided Vehicle for Hospital Logistics. *IEEE Access*, 5, 26892-26900. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2017.2767899>
- Eilers, K., & Rossman, J. (2014, joulukuu). *Modeling an AGV based facility logistics system to measure and visualize performance availability in a VR environment*. Esitetty Proceedings of the Winter Simulation Conference, 7.-10.12.2014. Savannah, GA, USA. <https://doi.org/10.1109/WSC.2014.7019903>

Fetch Robotics (2019a). Company – Fetch Robotics. Noudettu 2019-12-12 osoitteesta <https://fetchrobotics.com/company-fetch-robotics/>

Fetch Robotics (2019b). Meet The “Fetchers” Who Make Fetch Robotics Possible. Noudettu 2019-12-12 osoitteesta <https://fetchrobotics.com/fetchers/>

Fetch Robotics (2019c). Material Handling Transformed: VirtualConveyor from Fetch Robotics. Noudettu 2019-12-12 osoitteesta <https://fetchrobotics.com/products-technology/virtualconveyor/>

Fetch Robotics (2019d). RollerTop – Fetch Robotics. Noudettu 2019-12-12 osoitteesta <https://fetchrobotics.com/products-technology/virtualconveyor/rollertop/>

Fetch Robotics (2019e). CartConnect – Fetch Robotics. Noudettu 2019-12-12 osoitteesta <https://fetchrobotics.com/products-technology/virtualconveyor/cartconnect/>

Fetch Robotics (2019f). The Fetch Cloud Robotics Platform for Warehouse Automation. Noudettu 2019-12-12 osoitteesta <https://fetchrobotics.com/products-technology/cloud-robotics-platform-for-warehouse-automation/>

Gao, K., Xin, J., Cheng, H., Liu, D., & Li, J. (2018, marraskuu). *Multi-Mobile Robot Autonomous Navigation System for Intelligent Logistics*. Esitetty Chinese Automation Congress, 30.11.-2.12.2018. Xi’an, Kiina. <https://doi.org/10.1109/CAC.2018.8623343>

Gregor, S., & Hevner, A.R. (2013). Positioning and Presenting Design Science Research for Maximum Impact. *MIS Quarterly*, 37(2), 337-355. <https://doi.org/10.25300/MISQ/2013/37.2.01>

Hevner, A.R., March, S.T., Park, J., & Ram, S. (2004). Design Science in Information Systems Research. *MIS Quarterly*, 28(1), 75-105. <https://doi.org/10.2307/25148625>

- Hossain, S.G.M., Ali, M.Y., Jamil, H., & Haq, Md.Z. (2010, helmikuu). *Automated guided vehicles for industrial logistics – Development of intelligent prototypes using appropriate technology*. Esitetty The 2nd International Conference on Computer and Automation Engineering, 26.-28.2.2010. Singapore, Singapore. <https://doi.org/10.1109/IC-CAE.2010.5451466>
- Inser Robótica S.A. (2018). Integration of Automated Guided Vehicles. AGV – AIV – LGV. Nou-
dettu 2019-10-16 osoitteesta <https://www.inser-robotica.com/en/news-autonomous-vehicles/>
- Kamoshida, R., & Kazama, Y. (2017, heinäkuu). *Acquisition of Automated Guided Vehicle Route Planning Policy Using Deep Reinforcement Learning*. Esitetty 6th IEEE International Conference on Advanced Logistics and Transport, 24.-27.7.2017. Bali, Indonesia. <https://doi.org/10.1109/ICAdLT.2017.8547000>
- Kenk, M., Hassaballah, M., & Brethé, J. (2019). Human-aware Robot Navigation in Logistics Warehouses. *Proceedings of the 16th International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics*, 2, 371-378. <https://doi.org/10.5220/0007920903710378>
- Ko, M.H., Ryuh, B., Kim, K.C., Suprem, A., & Mahalik, N.P. (2015). Autonomous Greenhouse Mobile Robot Driving Strategies From System Integration Perspective: Review and Application. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, 20(4), 1705-1716. <https://doi.org/10.1109/TMECH.2014.2350433>
- Lambrinos, D., Möller, R., Labhart, T., Pfeifer, R., & Wehner, R. (2000). A mobile robot employing insect strategies for navigation. *Robotics and Autonomous Systems*, 30(1), 39-64. [https://doi.org/10.1016/S0921-8890\(99\)00064-0](https://doi.org/10.1016/S0921-8890(99)00064-0)

Li, S., Yan, J., & Li, L. (2018, heinäkuu). *Automated Guided Vehicle: the Direction of Intelligent Logistics*. Esitetty IEEE International Conference on Service Operations and Logistics, and Informatics, 31.7.-2.8.2018. Singapore, Singapore.
<https://doi.org/10.1109/SOLI.2018.8476726>

Ma, X., Hu, C., Dai, X., & Qian, K. (2008, syyskuu). *Sensor integration for person tracking and following with mobile robot*. Esitetty IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 22.-26.9.2008, Nice, France.
<https://doi.org/10.1109/IROS.2008.4650644>

Mobile Industrial Robots (2019a). About Us | Mobile Industrial Robots. Noudettu 2019-12-12 osoitteesta <https://www.mobile-industrial-robots.com/en/about-us/>

Mobile Industrial Robots (2019b). Press releases | Mobile Industrial Robots. Noudettu 2019-12-12 osoitteesta <https://www.mobile-industrial-robots.com/en/about-us/press-releases/>

Mobile Industrial Robots (2019c). Distributors | Mobile Industrial Robots. Noudettu 2019-12-12 osoitteesta <https://www.mobile-industrial-robots.com/en/distributors/>

Mobile Industrial Robots (2019d). Mobile Industrial Robots – Main products datasheet. Noudettu 2019-12-4 osoitteesta https://www.mobile-industrial-robots.com/media/6560/mir_main_brochure_en_web.pdf

Mobile Industrial Robots (2019e). MiR Pallet Rack – EU | Mobile Industrial Robots. Noudettu 2019-12-12 osoitteesta <https://www.mobile-industrial-robots.com/en/products/mir-add-ons/mir-pallet-rack-eu/>

- Muller, D. J., Cardinal, S. M., & Baumbach, J. (2002, joulukuu). *Transportation and material handling: complexities of AGV modelling in newspaper roll delivery system*. Esitetty Proceedings of the 34th conference on Winter simulation: exploring new frontiers, 8.-11.12.2002. San Diego, CA, USA. <https://doi.org/10.1145/1030453.1030604>
- Nielsen, I., Dang, Q., Bocewicz, G., & Banaszak, Z. (2017). A methodology for implementation of mobile robot in adaptive manufacturing environments. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 28(5), 1171-1188. <https://doi.org/10.1007/s10845-015-1072-2>
- Omron Corporation (2019a). LD-sarjan mobiilirobottien valmistajan verkkosivut. Noudettu 2019-12-10 osoitteesta <https://industrial.omron.fi/fi/products/ld-60-90>
- Omron Corporation (2019b). LD-sarjan mobiilirobottien valmistajan verkkosivujen teknologiaosuus. Noudettu 2019-12-10 osoitteesta <https://industrial.omron.fi/fi/products/ld-60-90#technology>
- Omron Corporation (2019c). Company Info | Omron, Suomi. Noudettu 2019-12-2 osoitteesta <https://industrial.omron.fi/fi/company-info>
- Omron Corporation (2019d). Mobile Robots – LD Series Autonomous Mobile Robots datasheet. Noudettu 2019-12-2 osoitteesta https://assets.omron.eu/downloads/datasheet/en/v2/ld-series_mobile_robot_datasheet_en.pdf
- Omron Corporation (2019e). Enterprise Manager 2100 – User’s Guide. Noudettu 2019-12-2 osoitteesta https://assets.omron.eu/downloads/manual/en/v4/i631_enterprise_manager_2100_users_manual_en.pdf
- Omron Corporation (2019f). Omron Fleet Operations Workspace (FLOW) Core. Noudettu 2019-12-2 osoitteesta https://assets.omron.eu/downloads/brochure/en/v2/flow_core_leaflet_en.pdf

Oodi (2018). Oodi | Helsingin keskustakirjasto - Oodin robotit auttavat työn tekemisessä. Noudettu 2019-10-16 osoitteesta <https://www.oodihelsinki.fi/oodin-robotit-auttavat-tyon-tekemisessa/>

Peppers, K., Tuunanen, T., Rothenberger, M. A. & Chatterjee, S. (2008). A Design Science Research Methodology for Information Systems Research. *Journal of Management Information Systems*, 24(3), 45–77. <https://doi.org/10.2753/MIS0742-1222240302>

Posicraft Oy (2019). Mobile Industrial Robots A/S valmistajan Suomen maahantuojan verkkosivut. Noudettu 2019-10-16 osoitteesta <https://www.posicraft.fi/tuotteet/mobiili-robotit/mir/>

Reboot IoT Factory (2020). Reboot IoT Factory -projektin viralliset verkkosivut. Noudettu 2020-3-21 osoitteesta <https://rebootiotfactory.fi/>

Robotize (2019a). About Robotize – Robotize. Noudettu 2019-12-12 osoitteesta <http://robotize.com/about/>

Robotize (2019b). Robotize – GoPal 400 Product sheet. Noudettu 2019-12-4 osoitteesta <http://robotize.com/media/1352/robotize-productsheet-gopal.pdf>

Robotize (2019c). Robotize – GoPal E24 Product sheet. Noudettu 2019-12-4 osoitteesta <http://robotize.com/media/1350/robotize-productsheet-e24.pdf>

Robotize (2019d). Functionality – Robotize. Noudettu 2019-12-12 osoitteesta <http://robotize.com/our-products/functionalities/>

Robotize (2019e). Technology – Robotize. Noudettu 2019-12-12 osoitteesta <http://robotize.com/our-products/technology/>

- Robotize (2019f). Your Benefits – Robotize. Noudettu 2019-12-12 osoitteesta <http://robotize.com/your-benefits/>
- Robotize (2019g). Accessories – Robotize. Noudettu 2019-12-12 osoitteesta <http://robotize.com/our-products/accessories/>
- ROEQ (2019a). The ROEQ Team – Development of Robotic Equipment for MiR robots. Noudettu 2019-12-12 osoitteesta <https://roeq.dk/about-us/>
- ROEQ (2019b). ROEQ | Development of Robotic Equipment for MiR Robots. Noudettu 2019-12-12 osoitteesta <https://roeq.dk/>
- Sabattini, L., Aikio, M., Beinschob, P., Boehning, M., Cardarelli, E., Digani, V., ... Fuerstenberg, K. (2018). The PAN-Robots Project: Advanced Automated Guided Vehicle Systems for Industrial Logistics. *IEEE Robotics & Automation Magazine*, 25(1), 55-64. <https://doi.org/10.1109/MRA.2017.2700325>
- Schulze, L., & Wullner, A. (2006, kesäkuu). *The Approach of Automated Guided Vehicle Systems*. Esitetty IEEE International Conference on Service Operations and Logistics, and Informatics, 21.-23.6.2006. Shanghai, Kiina. <https://doi.org/10.1109/SOLI.2006.328941>
- Seder, M., Petrović, L., Peršić, J., Popović, G., Petković, T., Šelek, A., Bićanić, B., Cvišić, I., Josić, D., Marković, I., Petrović, I., & Muhammad, A. (2019). Open Platform Based Mobile Robot Control for Automation in Manufacturing Logistics. *IFAC PapersOnLine*, 51(22), 95-100. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.11.055>
- Truong, X., & Ngo, T. (2016). Dynamic Social Zone based Mobile Robot Navigation for Human Comfortable Safety in Social Environments. *International Journal of Social Robotics*, 8(5), 663-684. <https://doi.org/10.1007/s12369-016-0352-0>

Tzafestas, S. G. (2018). Mobile Robot Control and Navigation: A Global Overview. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 91(1), 35-58. <https://doi.org/10.1007/s10846-018-0805-9>

Ullrich, G. (2015). *Automated Guided Vehicle Systems: A Primer with Practical Applications* (2. painos). Berlin, Heidelberg: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-44814-4>

Wang, C., & Du, D. (2016, elokuu). *Research on logistics autonomous mobile robot system*. Esitetty IEEE International Conference on Mechatronics and Automation, 7.-10.8.2016. Harbin, Kiina. <https://doi.org/10.1109/ICMA.2016.7558574>

Liitteet

Liite 1. Riskinarviointi ja riskitasomatriisi

Riski	Aiheuttaja	Nykyinen hallinta	Todennäköisyys	Vakavuus	Toimenpide-ehdotus	Riskitaso	
Tavaran hukkuminen tai virheellinen kulutus	Materiaalinkulutus ilman viivakoodin skannausta tai yhteyttä varastonhallintajärjestelmään	Kulutus käsipäätteillä viivakoodista		5	2	Kulutus automaattisesti varastopaikalta	M
Tuotannon häiriintyminen	Laitevika, vakava virhe	Hinaus tai siirto taukopaikalle		2	4	Ohjeistus, prosessien ajo manuaalisesti	M
Kulkuväylän estyminen	Vahvistuksen vaativa virhe	Leveät käytävät		3	2	Koulutus, tiedotus	M
Laitteen hajoaminen	Laitteiden törmäys toisiinsa	Nopeuden säätely, turvalaitteet		2	4	Tiedotus ja koulutus laitteen toiminnasta, ohjeistus, lisäsensorit	M
Laitteen laserskannerin vaurioituminen	Korkealla sijaitsevat esteet ja esineet	Trukeille suunnitellut käytävät, esteet poistettu		1	3	Ei vaadi lisätoimenpiteitä	L
Henkilövahingot törmäyksessä	Ulkopuoliset henkilöt, alihankkijat, vieraat, työntekijät	Valvottu liikkuminen tehtaalla, ohjeistus, turvavarusteet		1	5	Tiedotus tehtaansisäänkäynnille, koulutus, nopeusrajoitukset	M
Omaisuuksivahingot	Mitoitusvirheet lavapaikoissa, liian korkeat kuljetukset, sensorihäiriöt, määritys- tai navigointivirheet	Vahvistetut hyllyt, tasaiset hyllyvälit, mitoitetut hyllypaikat manuaalitrukeille, leveät käytävät		2	3	Käyttöönottotarkastus, tiedotus, lavapaikkojen merkinnät ja mitoitukset automaattitrukeille, laitteen käyttämien pohjapiirrosten ja määritysten tarkastaminen	M
Toiminnan estyminen	Toimintahäiriö, muu virhe	Huolto, tuki		2	2	Etätuen varmistaminen, vastuuhenkilön määrittäminen	L
Laitteen toimittomuus	Kokemattomuus ohjauslaitteiden käytöstä, rikkinäinen ohjauslaite, verkkoyhteyden menetys	Tiedotus ja koulutus uusien järjestelmien käyttöön		2	2	Koulutus ohjauslaitteiden käyttöön, verkkoyhteyden kartoitus, varalaitteiden varmistaminen	L
Työergonomia	Ohjauslaitteiden asennuskorkeus ja sijainti	Ergonomiset matot, toistojen minimointi		5	1	Ohjauslaitteiden asennus miellyttävälle korkeudelle	M
Sähkö- tai paloriski	Akkuvika, latauspisteen vaurioituminen, sähköjohtojen vaurioituminen	Palosammuttimet ja sammutuspeitteet tehtaalla, sähköjohtojen suojaaminen		1	5	Johtojen suojaaminen metallisuojalla, alueen varoitusmerkinnät, palosammuttimen ja sammutuspeitteen saatavuus	M

	5	4	3	2	1	Riskitaso	Selite	Matriisin muodostus	Todennäköisyys	Vakavuus, ihmiset (terveys ja turvallisuus)	Vakavuus, ympäristö	Vakavuus, turvallisuus
5	E	H	H	M	M	E, Extreme	Tehtävää ei saa jatkaa	5	Toteutuu toistuvasti	Kuolema tai pysyvä vamma	Suuri pitkäaikainen ympäristövahinko	Täydellinen menetys
4	H	H	M	M	L		Tehtävää ei saa jatkaa ilman ylemmän esimiehen hyväksyntää	4	Toteutuu usein	Poissaoloon johtava vamma tai sairaus	Vakava tai pitkäaikainen ympäristövahinko	Suuria menetyksiä tai vaurioita
3	H	M	M	M	L	H, High	Tehtävää ei saa jatkaa ilman esimiehen hyväksyntää	3	Toteutuu harvoin	Lääketeieteellistä hoitoa vaativa	Merkittävä ympäristövahinko	Merkittäviä menetyksiä tai vaurioita
2	M	M	M	L	L		Tehtävää ei saa jatkaa ilman esimiehen hyväksyntää	2	Toteutuu poikkeuksellisesti	Ensiapua vaativa	Lyhytaikainen ympäristövahinko	Jonkin verran menetyksiä tai vaurioita
1	M	L	L	L	L	L, Low	Tehtävää voi jatkaa	1	Käytännössä toteutuminen on mahdotonta	Vähäinen haitta/vain läheltä piti -tilanne	Vähäinen ympäristövahinko	Vähäinen menetys tai vaurio