



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Niklas Kaijansinkko

Mobiilirobottien hyödyntäminen taa- juusmuuttajatuotannossa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikka

Insinöörityö

20.09.2021

Tekijä Otsikko	Niklas Kajansinkko Mobiilirobottien hyödyntäminen taajuusmuuttajatuotannossa
Sivumäärä Aika	49 sivua 20.09.2021
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Sähkö- ja automaatiotekniikka
Ammatillinen pääaine	Automaatiotekniikka
Ohjaajat	Projektipäällikkö Risto Ylijoki Lehtori Timo Tuominen
<p>Insinööriyön aiheena oli tutkia mobiilirobotin soveltuvuutta kuljetusprosessissa, jossa taajuusmuuttajia kuljetetaan pystyasennossa. Tavoitteena oli valita käyttötarkoitukseen sopiva mobiilirobotti ja suunnitella taajuusmuuttajan kuljetusta varten kuljetusratkaisu, jota on turvallista käyttää. Insinööriyö on tehty ABB Oy:n System Modules -tuotantoyksikölle, joka sijaitsee ABB Oy:n Pitäjänmäen toimipisteessä.</p> <p>Insinööriyön alussa kerrotaan yleisellä tasolla käyttökohteesta, jossa mobiilirobottia tullaan käyttämään. Käyttökohteen jälkeen tutustutaan yleisellä tasolla mobiilirobottien historiaan, mobiilirobottien toimintaan ja mobiilirobottimarkkinoihin. Mobiilirobottien yleisen esittelyn jälkeen avataan kuljetusratkaisussa huomioitavia asioita. Insinööriyöhön kuuluu kaksi käytännön pilottia, joilla pyrittiin tutkimaan mobiilirobotin toimivuutta käyttökohteessa turvallisuus- ja tehokkuusnäkökulmasta. Insinööriyön lopussa on turvallisuuteen ja täysin automaattiseen kuljettamiseen liittyviä jatkokehitysideoita sekä yhteenveto.</p> <p>Insinööriyöhön valikoitui Omronin LD-250-mobiilirobotti, jota käytettiin molemmissa pilotteissa. Ensimmäisessä pilotissa tutkittiin enemmän mobiilirobotin ja R8i-taajuusmuuttajan asennusalustan yhdistelmää. Pilotti oli onnistunut, koska asennusalusta ei vaikuttanut mobiilirobotin suorituskykyyn huomattavalla tasolla. Ensimmäisen pilotin pohjalta syntyi päätös suorittaa toinen pilotti. Toisessa pilotissa oli Omron LD-250-mobiilirobotille suunniteltu kuljetusratkaisu, joka otti R8i-taajuusmuuttajan kyytiinsä. Pilotti oli onnistunut kaikilta osialueilta. Toisen pilotin yhteydessä suoritettiin erilaisia turvallisuuteen liittyviä testejä. Turvallisuustestit onnistuivat ja niiden pohjalta voidaan todeta turvallinen taajuusmuuttajan kuljettaminen myös tulevaisuudessa.</p> <p>Työtä voidaan käyttää tulevaisuudessa yleishyödyllisenä materiaalina mobiilirobotiprojekteissa.</p>	
Avainsanat	AMR, mobiilirobotti, SLAM, taajuusmuuttaja, WMR

Author Title	Niklas Kaijansinkko Utilization of Mobile Robots in Drive Production
Number of Pages Date	49 pages 20 Sep 2021
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical and automation engineering
Professional Major	Automation engineering
Instructors	Risto Ylijoki, Project Manager Timo Tuominen, Senior Lecturer
<p>The objective of this thesis work was to study the suitability of a mobile robot in a transport process, in which drives are transported in a vertical position. The goal was to select a mobile robot suitable for the application and to design a transport solution for transporting the drive that is safe to use. The thesis work was carried out for ABB Ltd System Modules production unit, which is located at ABB Ltd Pitäjänmäki office.</p> <p>At the beginning of the thesis, the application, in which the mobile robot will be used, will be described in general. After the described application, a general overview of the history of mobile robots, the operation of mobile robots and the mobile robot market will be introduced. After the general introduction of mobile robots, things to consider in the transport solution will be described. This thesis includes two practical pilots, which were aimed to study the functionality of the mobile robot in the application from the point of view of safety and efficiency. At the end of the thesis, there are ideas for further development related to safety and fully automatic transport, as well as a summary of the thesis.</p> <p>Omron's LD-250 mobile robot, which was used in both pilots, was selected for this thesis work. The first pilot explored the combination of a mobile robot and an R8i -drive assembly platform. The pilot was successful because the assembly platform did not significantly affect the performance of the mobile robot. Based on the first pilot, a decision was made to run a second pilot. The second pilot had a transport solution designed for the Omron LD-250 mobile robot that picked up the R8i -drive. The pilot was successful in all areas. Various safety-related tests were performed during the pilots. The safety tests were successful and can be used to determine the safe operation of the drive also in the future.</p> <p>This thesis can be used in the future as a general material during the mobile robot projects.</p>	
Keywords	AMR, mobile robot, SLAM, drive, WMR

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Tuotantoyksikkö ja ympäristö	3
2.1	System Modules	3
2.2	Tulevaisuuden muutokset	3
3	Mobiilirobotti	4
3.1	Mobiilirobotin historia	5
3.2	Mobiilirobotin paikannustekniikoita	7
3.2.1	Suhteellinen paikannus	8
3.2.2	Absoluuttinen paikannus	9
3.2.3	SLAM	10
3.2.4	SLAM-haasteita	10
4	Mobiilirobottien valmistajat	12
4.1	Omron	12
4.2	MiR	13
4.3	Robotize	15
4.4	Agilox	17
5	Mobiilirobotin valinta ja kuljetusratkaisu	19
5.1	Kuljetettava taajuusmuuttaja	19
5.2	Mobiilirobottien vertailu	19
5.3	Mobiilirobotin valinta	21
5.4	Laserit ja sensorit	21
5.5	Kuljetusratkaisu	23
6	Pilotti	26
6.1	Alkutilanne	27
6.2	SLAM-kartoitus ja ohjelmointi	27
6.3	Ensimmäisen pilotin tulokset	30

6.4	Toisen pilotin tulokset	33
6.5	Turvallisuus	34
7	Jatkokehitys	38
7.1	Mobiilirobotin lisälaitteet ja kuljetusratkaisu	38
7.2	Kuljetusprosessi	39
7.3	Large Drives	43
8	Yhteenveto	45
	Lähteet	47

Lyhenteet

ABB	Asea Brown Boveri. Ruotsalais-sveitsiläinen teollisuuskonserni.
AGV	Automated Guided Vehicle. Mobiilirobottimalli.
AGV	Autonomous Guided Vehicle. Autonominen mobiilirobotti.
AI	Artificial Intelligence. Tekoäly.
AMR	Autonomous Mobile Robot. Autonominen mobiilirobotti.
AUV	Autonomous Underwater Vehicle. Autonominen vedenalainen mobiilirobotti.
CD	Cabinet Drives. Tuotantolinja.
EKF	Extended Kalman Filter. Laajennettu Kalman-suodatin.
ESD	Electrostatic discharge. Elektrostaattinen jännitepurkaus.
GPS	Global Positioning System. Paikannusjärjestelmä.
IGV	Intelligent Guided Vehicle. Agiloxin nimitys mobiiliroboteilleen.
IMU	Inertial Measurement Unit. Gyroskoopin ja kiihtyvyyssanturin yhdistelmä.
INS	Inertial Navigation System. Suunnistusmenetelmä.
LD	Large Drives. Tuotantolinja.
LMR	Legged Mobile Robot. Jalkojen avulla liikkuva mobiilirobotti.
MD	Multidrives. Tuotantolinja.

MiR	Mobile industrial Robots. Yritys mobiilirobottimarkkinoilla.
NASA	National Aeronautics and Space Administration. Yhdysvaltain liittohallituksen alainen ilmailu- ja avaruushallintovirasto.
OPF	One Piece Flow. Vaiheistettu tuotantolinja taajuusmuuttajien valmistuksessa.
RBPF	Rao-Blackwellized Particle Filter. Rao-Blackwellized-hiukkassuodatin.
RF	Radio Frequency. Radiotaajuussignaali.
SAP	Systeme, Anwendungen und Produkte in der Datenverarbeitung. Ohjelmistonvalmistaja.
SLAM	Simultaneous Localization and Mapping. Paikannus- ja navigointitapa.
SM	System Modules. Tuotantoyksikkö.
SRI	Stanford Research Institute. Stanfordin tutkimuslaitos.
UAV	Unmanned Aerial Vehicle. Miehittämätön ilma-alus.
WMR	Wheeled Mobile Robot. Renkaiden avulla liikkuva mobiilirobotti.

1 Johdanto

Insinöörityön tarkoituksena on tutkia mobiilirobotin implementointia tuotantoympäristöön, jossa valmistetaan taajuusmuuttajia. Tuotantoympäristönä toimii Asea Brown Boveri (ABB) Oy Pitäjänmäen toimiyksikön E-tehdas, mutta päätarkastelukohde on System Modules -tuotantoyksikkö. Insinöörityössä sivutaan muitakin tuotantolinjoja kuten Cabinet Drivesia (CD), Multidrivesia (MD) ja Large Drivesia (LD).

Insinöörityölle on ennalta määritelty tutkimuskysymykset, joihin saadaan vastaus pääsääntöisesti insinöörityön yhteydessä toteutettavien pilottien kautta:

- Onko mobiilirobotti nopeampi kuljettamaan taajuusmuuttajia kuin ihminen?
- Onko säästön saavuttaminen mobiilirobotilla mahdollista?
- Voidaanko mobiilirobotilla kuljettaa taajuusmuuttajia pystyasennossa?
- Vaikuttaako mobiilirobotti myönteisesti automaation lisäämiseen tulevaisuudessa?

Insinöörityön alussa kerrotaan tuotantoyksiköstä, johon mobiilirobotti olisi tarkoitus implementoida. Implementointikohteen jälkeen tutkitaan mobiilirobottia yleisesti ja kerrotaan mobiilirobottien historiasta. Tämän jälkeen kerrotaan markkinoilla olevista mobiiliroboteista, vertaillaan niitä keskenään ja tehdään valinta pilotteihin päätyvästä mobiilirobotista. Pilotoinneissa tutkitaan kuljetusratkaisun ja kulkureitin toimivuutta, jotka on suunniteltu ennen pilotteja. Pilotointien keskeinen osa on varmistaa turvallisuus ja mobiilirobotin toimivuus tehdasympäristössä. Insinöörityön lopussa kerrotaan jatkokehityskohteista ja käydään lävitse insinöörityön tulokset yhteenvedon muodossa.

Insinöörityön tarkoitus on tutkia mobiilirobotin soveltuvuutta pystyssä kuljetettaville taajuusmuuttajille. ABB Oy:lle on tehty vuoden 2020 loppupuolella samantyyppinen insinöörityö, joka tutki taajuusmuuttajien kuljettamista mobiilirobotilla vaakatasossa. Tämä insinöörityö tuo uutena tutkimuskohteena taajuusmuuttajien kuljetuksen pystyasennossa, koska osaa tuotteista ei voida kuljettaa vaakatasossa. Insinöörityö toimii myös alkuselvityksenä isommalle projektille, jossa on tarkoitus yhtenäistää kaikkien tuotantolinjojen logistiikka ja muut materiaalikuljetukset mobiiliroboteilla.

ABB on ruotsalaissveitsiläinen teollisuuskonserni, joka syntyi ruotsalaisen Allmänna Svenska Elektriska AB (ASEA) ja sveitsiläisen Brown, Boveri & Cie (BBC) yhdistyessä vuonna 1988. ABB Oy työllistää suomessa noin 5 000 henkeä ja toimintaa on noin 20 paikkakunnalla. Suurimmat toimipisteet sijaitsevat Helsingin Pitäjänmäessä ja Vuosaaressa, Vaasassa, Haminassa ja Porvoossa. Maailmanlaajuisesti ABB työllistää noin 105 000 henkeä ja toimintaa on yli 100 maassa. [1.]

ABB:llä on neljä liiketoiminta-aluetta:

- Electrification
- Process Automation
- Motion
- Robotics & Discrete Automation.

Motion-liiketoiminta-alueeseen kuuluu kahdeksan divisioonaa: IEC LV Motors, Large Motors & Generators, NEMA Motors, Drive Products, System Drives, Service, Traction ja Mechanical Power Transmission. Insinööriyön tilaaja System Modules -tuotantoyksikkö on yksi osa Motion-liiketoiminta-alueen System Drives -divisioonaa. [2.]

2 Tuotantoyksikkö ja ympäristö

2.1 System Modules

System Modulesilla valmistettavien taajuusmuuttajien valmistusprosessi pohjautuu OPF-tuotantolinjaan (One Piece Flow), jossa työvaiheet on vaiheistettu. OPF:n tarkoitus on luoda tasaiset vaiheajat, ja sen vuoksi taajuusmuuttajia syntyy säännöllisin väliajoin. Valmistusprosessin lopussa taajuusmuuttajan alle asetetaan asennusalusta, jonka jälkeen taajuusmuuttaja siirtyy rasiin testiin eli koestukseen. Tämän jälkeen taajuusmuuttaja siirretään moduulipuskuriin, josta taajuusmuuttaja noudetaan käsin ja kuljetetaan haluttuun paikkaan. Haluttu paikka on tässä tapauksessa pakkaamo ja Cabinet Drivesin ja Multidrivesin moduulipuskurit.

System Modulesilla valmistetaan useita eri taajuusmuuttajamalleja. System Modulesilla valmistettavia taajuusmuuttajia kutsutaan yleisnimellä moduuli. Pääsääntöisesti moduulit ovat kaapitukseen asennettavia taajuusmuuttajia ja siksi niitä kutsutaan moduuleiksi. Tässä insinööriyössä tarkastellaan tarkemmin tuoteperheen ACS880-104 raamikokoja R6i, R7i ja R8i.

2.2 Tulevaisuuden muutokset

System Modulesin koestamolle on suunniteltu layout-muutosta. Myöhempään ajankohtaan on suunniteltu myös System Modulesin pakkaamoalueen siirtäminen uuteen paikkaan. Muutokset vaikuttavat mobiilirobotin kulkureitin pituuteen ja kulkureitin käännöksiä määrään. Tämän hetken suunnitelmien mukaan uusi mobiilirobotin kulkureitti System Modulesin koestamosta pakkaamoon lyhenisi matkassa noin 60 % tämänhetkiseen layoutiin verrattuna. Muutoksessa mobiilirobotin käännöksiä määrä vähenee puoleen, mikä nopeuttaa kuljetusta pakkaamoon huomattavasti. Mobiilirobotin kulkureitti pitenisi muutoksessa kuitenkin noin 15 % Cabinet Drivesin ja Multidrivesin moduulipuskureille. Tässä tapauksessa mobiilirobotin käännöksiä määrä kasvaa samalla, kun kulkureitti pitenee. Käännöksiä määrä vaikuttaa kuljetusaikaan, koska käännöksissä mobiilirobotin on turvallisuuden takia ajettava hitaammin.

3 Mobiilirobotti

Mobiilirobotti on ajoneuvo, joka ohjautuu itsenäisesti sisään asennetun ohjelmiston avulla. Ohjelmisto käyttää hyväkseen mobiilirobotin omia tai ulkopuolisia sensoreita, joilla se mittaa etäisyyksiä, nopeutta, liikettä ja muotoja. Mobiilirobotit käyttävät liikkumiseen tekoälyä (engl. Artificial Intelligence, AI) ja fyysisiä komponentteja, kuten renkaita, teloja tai jalkoja [3]. Mobiilirobotti voidaan yleisellä tasolla luonnehtia siis robotiksi, joka osaa liikuttaa itseään.

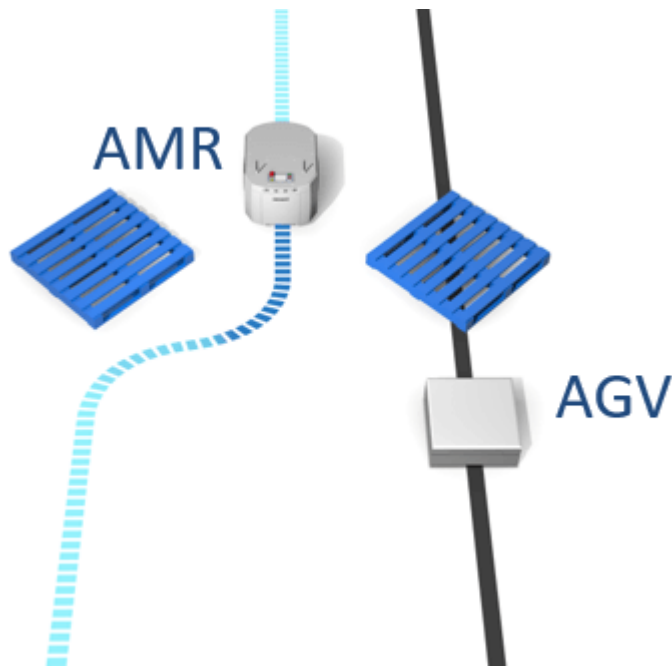
Mobiilirobotit jaotellaan liikkumistavan mukaan. Maalla toimivat mobiilirobotit jaetaan kahteen tyyppiin, renkailla (engl. Wheeled Mobile Robot, WMR) ja jaloilla (engl. Legged Mobile Robot, LMR) liikkuviin. Mobiilirobotiksi voidaan luokitella myös ilmassa (engl. Unmanned Aerial Vehicle, UAV) tai vedessä (engl. Autonomous Underwater Vehicle, AUV) liikkuvat robotit. WMR on näistä kaikista mobiilirobotti-tyypeistä yleisin, koska se soveltuu tyypillisimpiin käyttötarkoituksiin. [4, s. 1.] Renkailla liikkuvat mobiilirobotit soveltuvat parhaiten tämän insinööriyön käyttötarkoitukseen.

AMR (engl. Autonomous Mobile Robot) tarkoittaa samaa asiaa kuin AGV (engl. Autonomous Guided Vehicle). Se voidaan joissain tapauksissa sekoittaa myös AGV:hen (engl. Automated Guided Vehicle). Sekoittamisen välttämiseksi käytän tässä insinööriyössä AMR:ää, kun puhutaan autonomisesta mobiilirobotista.

Mobiilirobotteja voidaan jaotella karkeasti myös niiden paikantamistavan mukaan, kuten esimerkiksi AGV tai AMR. Käyttötarkoitukset voivat olla molemmissa paikannustavoissa samat, mutta toteutustapa erilainen. AGV (engl. Automated Guided Vehicle) -tyyppiset mobiilirobotit seuraavat ennalta asetettua reittiä ja ovat hyvin sidottuja siihen. AGV-mobiilirobotti käyttää navigoidessaan fyysisiä opasteita kuten peilejä, lankoja tai ohjaavia viivoja. [5, s. 6–7.] Tämä navigointitapa on tyypillisesti kalliimpaa AMR:ään verrattuna, koska AGV vaatii laajat muutokset ympäristöönsä, että se voi navigoida luotettavasti. AGV-mobiilirobotit ovat yleensä varustettuja myös vähäisellä tekoälyllä, joka riittää esteiden tunnistamiseen, mutta ei niiden kiertämiseen. [6.]

AMR-tyyppiset mobiilirobotit hyödyntävät enemmän tekoälyä kuin AGV-tyyppiset mobiilirobotit. Tekoälyn avulla AMR-tyyppiset mobiilirobotit osaavat tunnistaa esteitä, kiertää esteet ja luoda vaihtoehtoisia reittejä. Navigointi perustuu ennalta määritellyn kartan

hyödyntämiseen. AMR pystyy navigoimaan pelkästään omien sensoreiden avulla eli ei vaadi AGV:n tavoin fyysisiä opasteita lattioihin tai muualle ympärilleen. AMR on siis huomattavasti itsenäisempi ja joustavampi vaihtoehto, jos työskentely-ympäristöön tulee muutoksia tai poikkeustilanteita. [6.] Kuva 1 havainnollistaa visuaalisesti AMR:n ja AGV:n eron esteen väistämässä.



Kuva 1. AMR:n ja AGV:n ero esteen kanssa [7].

3.1 Mobiilirobotin historia

Mobiilirobottien alkeellinen kehitys voidaan luonnehtia alkaneeksi 2. maailmansodan aikaan, vuosina 1939–1945. Näinä vuosina tietokoneet ja kybertekniikka kehittyivät huomattavasti, niitä voitiin sulauttaa pommeihin. Pommeja voitiin kutsua älypommeiksi, koska ne osasivat ohjautua halutulla tavalla. [8.] W. Grey Walter rakensi vuosina 1948–1949 autonomiset mobiilirobotit Elmer ja Elsie. Molemmat mobiilirobotit osasivat suunnistaa valon avulla ja hakeutua lataukseen, kun niiden akun varaus väheni tiettyyn tasoon. [9.]

Vuotta 1970 voidaan luonnehtia mobiilirobottien alkuvuodeksi ensimmäisten kunnollisten mobiilirobottien ansiosta. Charles Rosen kehitti projektitiiminsä kanssa ensimmäisen

yleiskäyttöön tarkoitetun mobiilirobotin vuosina 1966–1972. Mobiilirobotti kehitettiin Stanfordin tutkimuskeskuksessa (engl. Stanford Research Institute, SRI). Kyseinen mobiilirobotti oli hyvin korkea, jonka takia se oli hatara ja siitä se saikin nimensä Hatara (engl. Shakey). Mobiilirobottia ohjasi älykkäät algoritmit, jotka aistivat ympäristöä erilaisten sensoreiden avulla. Shakey oli varustettu sisäisellä logiikalla, kaukokameralla, prosessorilla, kommunikointiin tarkoitetulla antennilla ja törmäyssensoreilla. [4.]

Shakeyn rinnalla kehitettiin viivaa seuraavaa Stanford Cart -nimistä mobiilirobottia, joka oli alun perin suunniteltu vuonna 1970. Kuitenkin vuonna 1979 Hans Moravec rakensi viivaa seuranneen mobiilirobotin uudelleen ja varusti sen paremmalla 3D-näöllä, joka mahdollisti monipuolisemman autonomisen suunnistuksen. Stanford Cart oli kykeneväinen suunnistamaan esteillä varustetussa huoneessa käyttäen kaukokameraa, joka otti kuvia monesta eri kuvakulmasta. Kuvat prosessoitiin mobiilirobotin sisäisen tietokoneen avulla. Se analysoi esteiden etäisyydet, jotka taas auttoivat mobiilirobottia navigoimaan varmemmin. Samaan aikaan Neuvostoliitto tutki kuun pintaa Lunokhod 1 -nimisellä mobiilirobotilla, joka oli kauko-ohjattava. Lunokhod 1 oli varustettu useilla lähettimillä ja vastaanottimilla, neljällä kaukokameralla ja erityisellä laitteistolla, joka tutki kuunpinnan ominaisuuksia. [4.]

Vuosia 1980–1989 pidetään Japanin humanoidien (kävelevä robotti) kehityksen aikakautena. Kuluttajia kiinnosti robotiikka ja kuluttajat tahtoivat ostaa kotikäyttöön tarkoitettuja robotteja. Kotikäyttöön tarkoitetut robotit olivat pääsääntöisesti opetukseen suunniteltuja viihde- tai palvelurobotteja. Vuonna 1984 kehitettiin WABOT-2-niminen robotti, jonka oli tarkoitus toimia erikoisemmissä käyttötarkoituksissa kuten pianonsoitossa. Muita mainitsemisen arvoisia mobiilirobotteja on vuonna 1983 julkaistu englantilainen, teloilla kulkeva tietokoneohjattu mikrorobotti Vaeltaja (engl. Prowler). Vuonna 1989 kehitettiin vedessä liikkuva Vesirobotti (engl. Aquarobot) ja kuudella raajalla liikkuva MIT:n (Massachusetts Institute of Technology) kehittämä Genghis. Samaan aikaan aiemmin mainittu Stanford Cart osasi luoda kartan sen ympäristöstään ja liikkua esteiden seassa entistäkin paremmin. [4.]

Vuosina 1990–1999 yleistyivät niin sanotut tutkimusrobotit (engl. explorer robot). Nämä robotit menivät sinne, minne ihmiset eivät voineet mennä ennen kuin meneminen oli todettu turvalliseksi. Tutkimusrobotteja oli useita, mutta esimerkiksi vuonna 1993 Dante 1- ja vuonna 1994 Dante 2 -nimiset mobiilirobotit tutkivat aktiivisia tulivuoria. Molemmat

mobiilirobotit olivat Yhdysvaltain liittohallituksen alaisen ilmailu- ja avaruushallinnon (engl. National Aeronautics and Space Administration, NASA) kehittämiä. NASA tutki samaan aikaan Marsin ilmastoa ja geologiaa. Vuonna 1997 NASA lähetti mars-planeetalle Sojourner-nimisen kuudella renkaalla liikkuvan mobiilirobotin, joka oli kykeneväinen liikkumaan itsenäisesti tarpeen tullen. Pääsääntöisesti sitä ohjattiin maasta kauko-ohjauksen avulla. [4.]

Vuosina 2000–2009 palvelurobotit yleistyivät hurjasti, etenkin imurointiin tarkoitetun iROBOT Roomban kautta vuonna 2002. Vuotta aiemmin alkoi parvirobotiprojekti (engl. swarm-bots project). Hyönteisten tavoin parviroboti on yksilö, joka osaa kommunikoida toisille mobiiliroboteille ja muodostaa täten parven. Parven avulla voidaan suorittaa monimutkaisiakin tehtäviä yhteistyöllä. Vuonna 2005 Boston Dynamics kehitti neliraajaisen mobiilirobotin, joka oli kykeneväinen kantamaan raskaitakin kuormia vaikeassa maastossa. Muutama vuosi myöhemmin Boston Dynamics kehitti uuden version neliraajaisesta mobiilirobotistaan, joka osasi kävellä liukkaallakin alustalla ja jopa nousta ylös kaaduttuaan. [8.]

Viimeisen 20 vuoden aikana tekoäly on kehittynyt merkittävästi ja sen kehittyminen mahdollistaa älykkäämpien mobiilirobottien valmistamisen ja tuomisen markkinoille. Aiemmin saatu sensoridata voitiin yhdistää erilaisilla algoritmeilla muotoon, jolla mobiiliroboti osasi navigoida, muttei tehdä itsenäisiä päätöksiä ongelmatilanteissa. Ongelmatilanne voi olla kulkureitille tullut este, joka pitäisi kiertää. Tekoälyn avulla mobiiliroboti on taipuvampi nykypäivän haasteisiin ja mahdollistaa vaikkapa esteen kiertämisen. Tämän hetken tekoäly mobiiliroboteissa keskittyy koneoppimiseen ja -näkemiseen. [10.]

3.2 Mobiilirobotin paikannustekniikoita

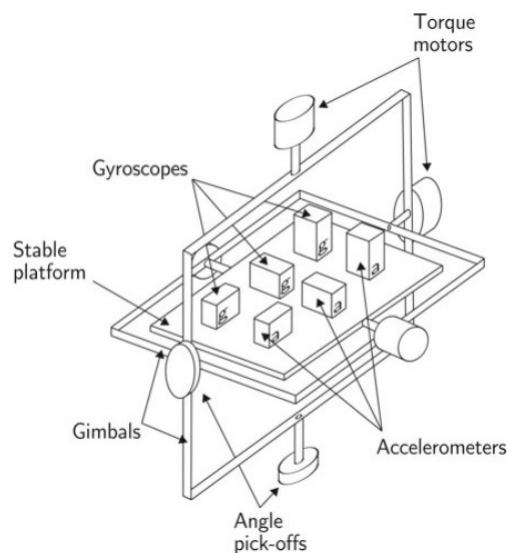
Paikantaminen voidaan toteuttaa kahdella eri tavalla: suhteellinen paikannus ja absoluuttinen paikannus. Vaikka paikannustapoja on kaksi erilaista, voidaan niitä käyttää mobiilirobotissa samanaikaisesti.

3.2.1 Suhteellinen paikannus

Suhteellisessa sijaintimittauksessa käytetään odometriaa (engl. odometry) ja inertiaalista suunnistusta (engl. Inertial Navigation System, INS). Odometria mittaa esimerkiksi mobiilirobotin renkaasta kuljettua matkaa renkaan säteen avulla. Liikkumisesta syntyvä mitaustulos lisätään aina aikaisempaan tulokseen, joka luo arvion liikutusta matkasta aloituspisteeseen nähden. [4, s. 489.] Toisin sanoen mitattua tietoa verrataan aina aikaisempaan sijaintiin. Käännöksissä, luisumisissa ja ajopinnan epätasaisuuksissa rengas voi pyörähtää eteenpäin, vaikka itse mobiilirobotti ei liikkuisi. Tämän takia yksittäiset mitaukset eivät ole aina tarkkoja ja virhe saattaa kasvaa kokonaismatkassa sitä suuremmaksi, mitä pitempi kuljettava matka on tai mitä enemmän ajopinnassa on virheitä.

Inertiaalinen suunnistus voi vähentää mitausvirhettä suhteellisessa paikannuksessa, jota voi syntyä odometrisesta mittauksesta. Inertiaalinen suunnistus käyttää hyväkseen erilaisia gyroskooppeja ja kiihtyvyyssantureita. Gyroskoopit antavat tiedon asennosta ja kallistuskulmista. Kiihtyvyyssanturit antavat tiedon nopeuden muutoksista. [11, s. 5.]

Gyroskoopit ja kiihtyvyyssanturit ovat yleensä yhdessä ja tällöin niiden yhdistelmää voidaan kutsua inertiaaliseksi mittausyksiköksi (engl. Inertial Measurement Unit, IMU). [12, s. 35.] Kuvasta 2 nähdään IMU-yksikön perusrakenne kokonaisuudessaan ja siinä olevat gyroskoopit (engl. gyroscopes) ja kiihtyvyyssanturit (engl. accelerometers).



Kuva 2. IMU:n rakenne [12, s. 36].

3.2.2 Absoluuttinen paikannus

Absoluuttisessa paikannuksessa käytetään magneettista kompassia (engl. magnetic compass), tutkaa (engl. active beacon), maailmanlaajuista paikallistamisjärjestelmää (engl. Global Positioning System, GPS), maamerkinavigointia (engl. landmark navigation) ja malliin vertailua (engl. model matching).

Magneettisen kompassin toiminta perustuu maan magneettikentän hyödyntämiseen. Kompassi näyttää kompassin tarkkuuden mukaan ilmansuunnat suhteessa kompassin asentoon ja paikkaan. Kompasseista on olemassa monia eri tyyppisiä, joista jokainen osaa häivyttää erilaisia ulkoisia häiriötä. Yleisimpänä ulkoisena häiriönä ovat suuret metalliset rakenteet ja jännitelinjat. Elektroninen kompassi (engl. fluxgate compass) on mobiiliroboteissa soveltuvin kompassityyppi. Se ei häiriinny ulkoisista magneettikentistä, kuten mobiilirobotin omista sähkömoottoreista. [11, s. 6.]

Tutkaa käytetään suunnistamiseen yleisimmin laivoissa ja lentokoneissa kuin myös mobiiliroboteissa. Tutkat ovat äärimmäisen tarkkoja ja antavat luotettavan sijainnin pienelläkin prosessoinnilla. [11, s. 7.] Yleisimmät kaksi tutkajärjestelmää: kolmivaiheinen (engl. trilateration) ja kolmiointi (engl. triangulation). Kolmivaiheisessa tutkassa saadaan kohde selville etäisyyksillä ja kolmioinnissa kulmilla. Molemmat vaihtoehdot ovat hyvin kalliita ja vaativat tarkan asennuksen sekä paljon huoltoa. [13.]

GPS muodostuu 21 pääsatelliitista ja 3 satelliitista, jotka ovat varalla. Satelliitit välittävät koodattua radiotaajuus-signaalia (engl. Radio Frequency, RF), joka sisältää tiedon satelliitin hetkellisestä sijainnista. GPS:n käyttäessä kehittynyttä kolmivaiheista menetelmää. Maassa olevat vastaanottimet voivat laskea sijaintinsa mittaamalla RF-signaalien aikaa, joka kuluu satelliitilta vastaanottimelle. GPS:ää voidaan käyttää ulkona ja sisällä, mutta sisällä se ei ole tarkka, koska pinnoista syntyy heijastumia. [11, s. 9.]

Suunnistus maamerkeillä tarkoittaa mitä tahansa fyysistä kiinnekohtaa, jonka robotti tunnistaa sensoreillaan. Maamerkit valitaan yleensä huolella, jotta mobiilirobotti voi tunnistaa ne mahdollisimman helposti ja nopeasti. Mitä helpompi maamerkki on tunnistaa, sitä parempi on mobiilirobotin tarkkuus suunnistuksessa tai asennon laskemisessa. Maamerkit voivat olla geometrisiä muotoja (esim. viivoja tai ympyröitä), ja ne voivat sisältää tietoa

(esim. viivakoodi). Yleisesti maamerkit ovat asetettu tiettyyn paikkaan. Maamerkit pitää kuitenkin näyttää mobiilirobotille ja tallettaa ne sen muistiin. [11, s. 12.]

Mallipohjaisessa suunnistuksessa mobiilirobotti vertailee jatkuvasti referenssikarttaa, joka on aikaisemmin tallennettu mobiilirobotin muistiin. Tällöin voidaan puhua myös karttavastaavuudesta (engl. map matching). Referenssikartta voi olla esimerkiksi CAD-malli ympäristöstä tai mobiilirobotin itse luoma kartta. Mobiilirobotti luo oman kartan ympäristöstä sensoreillaan. Tämän jälkeen kartta tallentuu mobiilirobotin omaan muistiin. Mobiilirobotti vertailee ajon aikana ympäristöään tallennettuun referenssikarttaan. Vastaavuuden löytyessä laskee mobiilirobotti itselleen tarkan sijainnin ja asennon. [11, s. 14.]

3.2.3 SLAM

Simultaneous Localization and Mapping (SLAM) on prosessi, jossa mobiilirobotti luo karttaa etäisyysantureiden avulla ja tekee samalla arviota sijainnistaan. Kartan luominen tapahtuu siis reaaliajassa ilman ennakkotietoa robotin sijainnista. Mobiilirobotti käyttää rakentamaansa karttaa myöhemmin navigointiin. SLAM on keskeinen ominaisuus missä tahansa todellisessa autonomisessa mobiilirobotissa. [14, s. 174.]

Kyky aistia ympäristöä on autonomisen mobiilirobotin yksi luokittelukriteereistä. Luotettavien sensoreiden valinta ja niiden oikea käyttö on välttämätöntä mobiilirobotille, koska ne määrittävät pitkälti SLAM-prosessin tarkkuuden. SLAM:n perusrakenne koostuu odometriasta, maamerkkiennusteesta, maamerkkien poistamisesta, tietojen yhdistämisestä, asennon ennustamisesta ja kartan päivittämisestä. Edellä mainitut toiminnot ovat jokaisen SLAM-prosessin selkäranka. SLAM-prosessissa tarvitaan erilaisia algoritmeja yhdistämään parametrejä sensoreilta, kartan uudelleen muokkaukselta, ulkoisilta ja sisäisiltä dynaamisilta muuttujilta ja sensorien mittauksilta. Yleisimmät algoritmit ovat laajennettu Kalman filteri (engl. Extended Kalman Filter, EKF) ja Rao-Blackwellizedin hiukkasfilitteri (engl. Rao-Blackwellized Particle Filter, RBPF). [14, s. 175.]

3.2.4 SLAM-haasteita

Paikannusvirheet voivat kumuloitua, jotka aiheuttavat huomattavia poikkeamia alkupe-
räisestä mittauksesta pidemmällä matkalla. Tietyn ajan päästä mobiilirobotin aloitus- ja

lopetuspisteet eivät välttämättä enää kohta, kun mittausvirhe on kumuloitunut moneen kertaan (engl. loop closure problem). Virheen kumuloitumisen voi välttää opettamalla mobiilirobotille staattisia maamerkkejä (esim. kiinteät tolpat), joiden avulla mobiiliroboti voi kalibroida itsensä eli poistaa kumuloituneen virheen. [15.] Kuvista 3 ja 4 voidaan nähdä ero vääristyneen kartan ja vääristymättömän kartan välillä. Vääristymän aiheuttaa mittausvirheen kumuloituminen.



Kuva 3. Kumuloitunut mittausvirhe [15].



Kuva 4. Vääristymätön kartta [15].

Nykypäivän mobiilirobotit ovat hyvin edistyksellisiä, joten kumuloituvia virheitä ei juurikaan synny. Mobiilirobotin suorittaessa SLAM-prosessia on suositeltavaa panostaa syntyneen SLAM-kartan jälkiprosessointiin, jotta mobiilirobotti voi suunnistaa luotettavammin. Mitä enemmän staattisia maamerkkejä mobiilirobotille on opetettu, sitä parempi on navigoinnin tarkkuus ja ylipäätään luotettavuus.

4 Mobiilirobottien valmistajat

4.1 Omron

Kaikki Omronin valmistamat mobiilirobotit ovat AMR-tyyppisiä. Omron on nimennyt mobiilirobottinsa yksinkertaisella tavalla. Mallin numero tarkoittaa mobiilirobotin maksimaalista kantokykyä kilogrammoissa: LD-60, LD-90, LD-250 ja HD-1500. Pienimmät mallit (LD-60/90) soveltuvat enemmän kevyen tavaran liikutteluun nopeilla tahtiajoilla. Keski-suuri LD-250 on Omronin vastaus yleisimpiin logistiikan tarpeisiin. LD-250 on Omronin mobiiliroboteista kuitenkin hitain malli. Pienistä (LD-60/90) ja keskisuuresta (LD-250) malleista on saatavilla ESD-versio (engl. Electrostatic discharge), jotka soveltuvat paremmin elektroniikkatuotantoon. Omronin suurin malli HD-1500 on tarkoitettu jo vaativampiin kuljetuksiin, kuten täyteen pakattu kuormalava. Kuvassa 5 on Omronin mobiilirobotteja.



Kuva 5. Omronin mallit vierekkäin: HD-1500 (vas.), LD-250 (kesk.) ja LD-60/90 ESD (oik.) [16].

Yleisesti mallit LD-60/90 ovat valkoisia, LD-250 ja HD-1500 ovat harmaita. ESD-version tunnistaa mustasta väristään. Omronin mobiiliroboteissa on jäykkä alumiinirunko, joka mahdollistaa lisälaitteiden asentamisen suoraan mobiilirobottiin. Kaikissa malleissa on vakiona myös ohjelmoitava logiikkapiiri, jonka avulla voidaan toteuttaa monimutkaisiakin

lisäosaratkaisuja. Omron tarjoaa malleihinsa muutamia lisäosia, kuten sivulle asennettavia lasereita ja tarkempia paikannusratkaisuja. Omronin kaikkiin malleihin on saatavilla myös lataustelakka, johon mobiilirobotti osaa hakeutua automaattisesti. Taulukossa 1 on Omronin mobiilirobottien mallit ja niiden tärkeimmät tiedot.

Taulukko 1. Omron mobiilirobottien tiedot [17; 18; 19].

	LD-60	LD-90	LD-250	HD-1500
Kantokyky (kg)	60	90	250	1 500
Omamassa (kg)	62	62	148	585
Huippunopeus (m/s)	1,8	1,35	1,2	1,8
Koko (P x L x K) mm	699 x 500 x 383	699 x 500 x 383	963 x 718 x 383	1 696 x 1 195 x 370
Ajoaika (h)	15	15	13	12,5
Latausaika (min)	240	240	240	39
ESD-versio	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Ei

Ajoaika on ilmoitettu ilman kuormaa. Latausaika on ilmoitettu nopeimman mahdollisen latausmahdollisuuden mukaan.

4.2 MiR

MiR:llä ja Omronilla on hyvin samantyyppiset tuotteet tarjottavanaan, ja ne ovatkin toisilleen kovimmat kilpailijat. MiR julkisti ensimmäisen mallinsa MiR100 vuonna 2015. Siitä lähtien on kehitetty neljä uutta mallia: MiR200, MiR250, MiR500 ja MiR1000. Näistä uusin on MiR250, joka on tullut markkinoille vuonna 2020. [20.] Kuvassa 6 on MiR:n mobiilirobotteja.



Kuva 6. MiR mallit vasemmalta oikealle: MiR1000, MiR500, MiR200, MiR100 ja MiR250 [21].

MiR:n tarjoamat mobiilirobottimallit ovat kaikki AMR-tyyppisiä. MiR on nimennyt mallinsa samaan tapaan kuin Omronkin. Mallin numero tarkoittaa mobiilirobotin maksimaalista kantokykyä kilogrammoissa: MiR100, MiR200, MiR250, MiR500 ja MiR1000. MiR:n mallit voidaan jakaa fyysisen koon puolesta pieniin (MiR100, MiR200 ja MiR250) ja isoihin (MiR500 ja MiR1000). Valikoima on kattava, mikä helpottaa löytämään sopivan mallin haluttuun käyttökohteeseen ja -tarkoitukseen. MiR tarjoaa mobiilirobottimalleihinsa myös ESD-valmiuden. Taulukossa 2 on koottuna MiR:n mallit ja niiden tärkeimmät tiedot. Ajoaika on ilmoitettu täyden kuorman kanssa. Latausaika on ilmoitettu nopeimman mahdollisen latausmahdollisuuden mukaan.

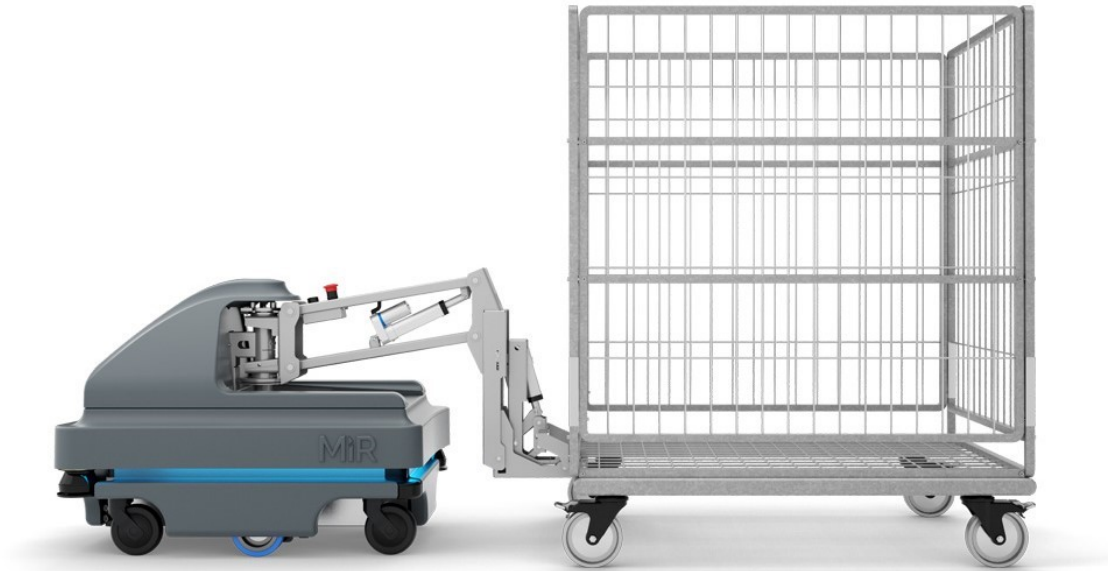
Taulukko 2. MiR-mobiilirobottien tiedot [22].

	MiR100	MiR200	MiR250	MiR500	MiR1000
Kantokyky (kg)	100	200	250	500	1 000
Omamassa (kg)	70	70	83,0	226	231
Huippunopeus (m/s)	1,5	1,1	2,0	2,0	1,2
Koko (P x L x K)	890 x 580 x 352 mm	890 x 580 x 352 mm	800 x 580 x 300 mm	1 350 x 910 x 320 mm	1 350 x 910 x 320 mm
Kuorma-ala (P x L)	800 x 580 mm	800 x 580 mm	800 x 580 mm	1 249 x 789 mm	1 249 x 789 mm
Ajoaika (h)	10	10	13	8	8
Latausaika (min)	180	180	70	60	60
ESD-versio	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Ei	Ei

MiR:n kaikkiin malleihin on saatavilla useita eri lisäosia MiRGo-nimisen palvelun kautta, joka tekee yhteistyötä 3. osapuolen yritysten kanssa. Valmiita ratkaisuja on saatavilla huoneen automaattiseen desinfiointiin, hyllyköiden kuljetukseen, mobiilirobotin ankkurointiin, kuorman nostamiseen, rullaratoihin, cobotteihin ja hallintajärjestelmien integrointiin. [23.] MiR:n kaikkiin malleihin on saatavilla lataustelakka (MiR Charge), johon mobiilirobotti osaa hakeutua automaattisesti. Lataustelakoita on kahta mallia: MiR Charge 24V ja 48V. MiR Charge 24V on tarkoitettu MiR100:lle ja MiR200:lle ja MiR Charge 48V on tarkoitettu MiR250:lle, MiR500:lle ja MiR1000:lle. [22.]

MiR:n mobiilirobotit ovat pääsääntöisesti suunniteltu kantamaan kuormaa, mutta MiR100 ja MiR200 voidaan muuntaa vetämään kuormaa koukun avulla (MiR Hook). MiR100 pysyy vetämään koukun avulla jopa 300 kg:n kuormaa ja MiR200 jopa 500 kg:n kuormaa. Kuvassa 7 on MiR Hook 200 asennettu MiR200-malliin. MiR tarjoaa ratkaisun myös

erilaisten kuormalavojen nostamiseen ja kuljettamiseen (MiR Pallet Lift, MiR EU Pallet Lift ja MiR Shelf Lift). Nämä ratkaisut on tarkoitettu suurimmille malleille MiR500 ja MiR1000. [22.]



Kuva 7. MiR Hook 200 ja logistiikkahäkki [24].

4.3 Robotize

Robotize GoPal 400 oli ensimmäinen Robotizen myymä mobiilirobotti vuonna 2017. Siitä lähtien on kehitetty kolme uutta mallia: GoPal E24, GoPal 24W ja GoPal U24W. [25.] Robotizen tarjoamat mobiilirobottimallit ovat kaikki AMR-tyyppisiä. Robotizen mobiilirobotit ovat pääsääntöisesti tarkoitettu siirtelemään raskaita kuormalavoja siihen tarkoitettujen asemien välillä. Kuormalavojen liikuttelussa mobiilirobotit hyödyntävät nosto-ominaisuuttaan, joka riittää nostamaan kuormalavan 160 mm korkeuteen mobiilirobotin rungosta. Kuvassa 8 on Robotizen oma kuormalava-asema ja GoPal 400 matkalla nostamaan kuormaa.



Kuva 8. Robotize GoPal 400 ja kuormalava-asema [26].

Kuormalavastandardeja on useita ja niissä eroina on yleisesti koko ja niiden nostamiseen tarkoitettu aukotus. Tämän takia täytyy olla useampi malli, jotta turvataan varma kuljetus ja nostaminen mobiilirobotilla. Robotizen GoPal 400 ja GoPal E24 mobiilirobotit ovat suunniteltu siirtämään EUR-kuormalavoja, GoPal E24W teollisuus-EUR-kuormalavoja ja GoPal U24W US/UK -kuormalavoja. Taulukossa 3 on koottuna Robotizen mallit ja niiden tärkeimmät tiedot.

Taulukko 3. Robotize-mobiilirobottien tiedot [27].

	GoPal 400	GoPal E24	GoPal E24W	GoPal U24W
Kantokyky (kg)	425	1 000	1 200	1 200
Omamassa (kg)	175	187	215	242
Nopeus (m/s)	2,4	2,0	2	2
Koko (P x L x K)	1 400 x 860 x 315 mm	1 400 x 860 x 315 mm	1 400 x 1 060 x 340 mm	1 400 x 1 060 x 340 mm
Kuorman koko (P x L x K)	1 240 x 800 x 2 400 mm	1 240 x 800 x 2 400 mm	1 240 x 1 000 x 2 400 mm	1 240 x 1 020 x 2 400 mm
Ajoaika (h)	10–14	6–10	6–14	6–14
Latausaika (min)	45	45	45	45

Robotizen kaikki mobiilirobotit voidaan ladata automaattisesti lataustelakalla tai manuaalisesti siihen tarkoitettun liitännän avulla. Mobiilirobotti voidaan kutsua hakemaan kuormalavaa sille tarkoitettua kutsunappia painamalla tai puhtaasti automatiikan avulla. [27.]

Mobiilirobotit ovat mahdollista sulauttaa myös muihin tehtaan järjestelmiin kuormalava-aseman ansiosta, jossa on ohjelmoitava logiikka. GoPal-kuormalava-asema rullaradalla (engl. GoPal Conveyor Pallet Station) on mahdollista asentaa tehtaan muun rullaradan päähän, josta mobiilirobotti osaa hakea kuormalavan automaattisesti. Tämä Robotizen rullarata pystyy kannattelemaan maksimissaan 1 500 kg:n kuormaa. [28.]

4.4 Agilox

Robotizen tarjoamat mobiilirobottimallit ovat kaikki AMR-tyyppisiä, joita Agilox kutsuu lyhenteellä IGV (Intelligent Guided Vehicle). Agiloxin mobiilirobotit ovat pääsääntöisesti suunniteltu nostamaan ja kuljettamaan raskaita kuormalavoja. Kuormalavojen liikuttelussa mobiilirobotit hyödyntävät nosto-ominaisuuttaan. Taulukossa 4 on koottuna Agiloxin mallit ja niiden tärkeimmät tiedot.

Taulukko 4. Agilox-mobiilirobottien tiedot [29].

	Agilox ONE Single	Agilox ONE Double	Agilox OCF
Kantokyky (kg)	1 000	750	1 500
Omamassa (kg)	380	380	3 600
Nopeus (m/s)	1,4	1,4	1,4
Koko (P x L x K)	1 510 x 800 x 1 870 mm	1 510 x 800 x 1 870 mm	2 800 x 1 200 x 2 570 mm
Nostokorkeus	550 mm	1 060 mm	1 600 mm
Ajoaika (h)	12	12	12

Agilox ONE on saksinostimella varustettu vastapainotrukki. Agilox ONE-mallista on saatavilla kahteen eri käyttötarkoitukseen omat varianttinsa. Mallin ONE Single ja ONE Double erona on nostavien saksien määrä. Saksien määrä määrittää ainoastaan eron kantokyvyssä ja nostokorkeudessa. Agilox ONE -nostohaarukat ovat vakiona 1 200 mm pitkät, mutta ne voidaan vaihtaa halutessaan jopa 1 800 mm:n pituisiin. Agilox OCF on vasta tulossa markkinoille, joten sen kaikkia teknisiä yksityiskohtia ei ole vielä julkistettu. Agilox OCF (kuva 9) on jo nykyisten tietojen mukaan huomattavasti isompi ja raskaamman kuorman käsittelyyn tarkoitettu vastapainotrukki. [29.]



Kuva 9. Agilox OCF [29].

Agiloxin mobiilirobotteja voidaan ladata pikalatauksella kolmen minuutin ajan, jolla saadaan jopa tunnin verran ajoaikaa. Agilox tarjoaa ratkaisun muiden laatikoiden/tuotteiden liikutteluun kuljetinlisäosan avulla. Lisäosaa kutsutaan nimellä Agilox BCO, jonka Agiloxin mobiilirobotit voivat ottaa matkaansa kuormalavan tapaisesti. Agilox IO on kolmannen osapuolen ulkoinen ohjelmoitava logiikka, joka voidaan kytkeä automaatioverkkoon. Agilox tarjoaa myös turvallisuuden lisäämiseen tarkoitettuja sensoreita ja valoja. [29.]

5 Mobiilirobotin valinta ja kuljetusratkaisu

5.1 Kuljetettava taajuusmuuttaja

Insinööriyöhön on valikoitunut tarkastelun kohteeksi System Modulesilla valmistettava taajuusmuuttaja ACS880-104 R8i, lyhyemmin R8i. Tällä taajuusmuuttaja -mallilla tullaan suorittamaan toinen pilotti. Muita mobiilirobotilla kuljetettavia taajuusmuuttajia ovat tulevaisuudessa ACS880-104 R6i ja R7i. Lyhyemmin R6i ja R7i.

Taulukko 5. System Modulesilla valmistettavien taajuusmuuttajien yleistiedot [30, s. 65–67].

ACS880-104				
Raamikoko	Korkeus (mm)	Leveys (mm)	Syvyys (mm)	Paino (kg)
R6i	890	170	456	38
R7i	890	170	456	39
R8i	1 397	240	583	125

Taulukossa 5 on System Modulesilla valmistettavia taajuusmuuttajia ja niiden yleistiedot.

5.2 Mobiilirobottien vertailu

Metropolia Ammattikorkeakoulussa on valmistunut vuoden 2020 lopussa taajuusmuuttajien kuljettamista mobiilirobotilla tutkiva insinööriyö. Työn on kirjoittanut Patrik Kaijansinkko. Työssä tutkittiin mobiilirobotin hyödyntämistä taajuusmuuttajien kuljetuksessa, jotka olivat vaakatasossa. Tässä insinööriyössä tutkitaan taajuusmuuttajien kuljettamista mobiilirobotilla pystyasennossa, koska tuote ja tuotteen valmistus/testaus on erilainen.

Patrik Kaijansinkko vertailee hyvin yksityiskohtaisesti mobiilirobotteja. Vertailuun vaikuttivat taajuusmuuttajan mitat ja paino, joiden lisäksi vaikuttivat mobiilirobottien ominaisuudet. Kuljetettavat taajuusmuuttajat ovat tässä ja Patrik Kaijansinkon insinööriyössä melkein samanpainoisia, joten hänen tekemiään vertailuja voidaan hyödyntää tässä insinööriyössä. [31.] Mobiilirobottien vertailu tässä työssä tehdään R8i-moduulin tietoja hyödyntäen. Tiedot löytyvät taulukosta 5. R8i-moduulin tietoja käytetään vertailussa, koska se on suurikokoisin ja samalla painavin.

Agiloxin mobiilirobotit ovat Patrik Kaijansinkon insinööriyössä täysin poissuljettu vaihtoehto tarvittavan mobiilirobotin lisäosan kantokyvyn takia. Lisäosa on Agiloxin BCO-kuljetinmoduuli, jonka kuorman maksimikantokyky on 55 kg. [31.] Kuljetinmoduuli ei sovellu myöskään pystyssä kuljetettavaan R8i-moduulin suuren fyysisen painonsa sekä korkealla sijaitsevan painopisteen takia. Tässä työssä on kerrottu myös Robotizen valmistamista mobiiliroboteista. Robotizen mobiilirobotit on tarkoitettu pääsääntöisesti kuormalavojen kuljetukseen. Robotizen mobiilirobottimalleissa on hyvin suorituskykyiset ominaisuudet, mutta tässä käyttötarkoituksessa niiden suuri fyysinen koko sulkee pois niiden käytön. Robotizen mobiilirobotit vaativat hyvin leveän kulkureitin luotettavaan toimintaan, joten senkin takia Robotizen mobiilirobotteja ei voida käyttää.

Mobiilirobottivalmistajista Omron ja MiR ovat parhaimmat vaihtoehdot pienen fyysisen kokonsa puolesta. Heidän tuotteensa ovat hyvin samalaisia ulkoisesti, mutta myös ominaisuuksiltaan. Tämä tekee vertailusta hankalampaa. Mobiilirobotin osittain päälle, mutta pääosin taakse täytyy rakentaa kuljetusratkaisu, joka pitää R8i:n asennusalustansa päällä tukevasti. Mobiilirobotilta vaaditaan vakaata rakennetta, johon voidaan rakentaa taajuusmuuttajan kuljetusratkaisu.

Omronin LD-250 ja MiR:n MiR250 ovat potentiaalisimmat mobiilirobottimallit, joiden välillä tapahtuu suurin vertailu. LD-250 painaa itsessään 148 kg ja MiR250 painaa 83 kg. Koska MiR250 painaa huomattavasti vähemmän kuin itse kuljetettava R8i-moduuli, on riski, että MiR250 saattaa kaatua moduulin kanssa. Kaatuminen saattaa tapahtua kaarteissa, kun mobiilirobotti voi ajaa samanaikaisesti ruuvien tms. ylitse.

Kuljetusratkaisu vaatii myös ulkoisen automatiikan ja sensoridatan käyttöä, joten mobiilirobotissa tulisi olla mahdollisimman kattava logiikkapiiri. Omron LD-250 sisältää logiikkapiirin, joka mahdollistaa 16 digitaalista sisään- ja ulostuloa sekä 8 analogista sisään-tuloa ja 4 ulostuloa [18]. MiR250:n logiikkapiiri mahdollistaa vain 4 digitaalista sisään- ja ulostuloa [22]. Ilman lisäosia LD-250 vaatii ainoastaan 1 100 mm käytävän leveyden toimiakseen täydellä nopeudella [32]. Ilman lisäosia MiR250 vaatii 1 350 mm leveyden toimiakseen täydellä nopeudella, mutta SICK:n turvalaitteilla saavutetaan jopa 1 000 mm käytävän leveys [22]. Ahtaiden tuotannon kulkureittien takia on LD-250 parempi vaihtoehto sellaisenaan.

Taulukoista 1 ja 2 huomataan, että ajoajat LD-250 ja MiR250 mobiiliroboteissa ovat identtiset eli 13 tuntia. Suurena etuna MiR250:ssä on huomattavasti nopeampi latausaika verrattuna Omronin LD-250:een. Latausajat on ilmoitettu taulukoissa 1 ja 2. Mobiilirobotilta vaaditaan myös ESD-turvallisuutta, koska taajuusmuuttajat ovat elektronisesti helposti rikkoutuvia. Tehdasympäristön lattia on kauttaaltaan päällystetty sähköä johtavalla epoksiseoksella, joten mobiilirobotin ollessa ESD-turvallinen ei taajuusmuuttajilla ole vaaraa rikkoutua. LD-250- ja MiR250-mobiilirobotit ovat saatavilla ESD-versiona.

5.3 Mobiilirobotin valinta

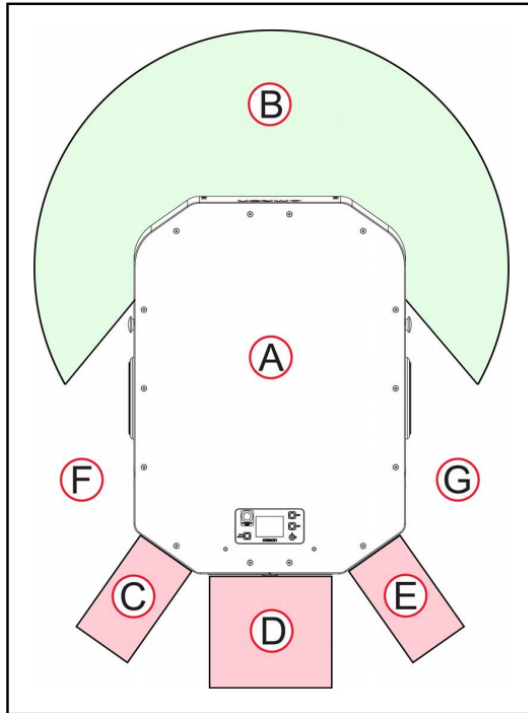
Omron LD-250 nousi kaikista tässä insinööriyössä mainituista mobiiliroboteista parhaimmaksi vaihtoehdoksi. Mobiilirobotin valintaan vaikuttivat mobiilirobotin oma paino, kantokyky, mobiilirobotin oman logiikkapiirin ominaisuudet, ESD-turvallisuus ja yleinen soveltuvuus tehdasympäristöön. Valintaan vaikutti vahvasti myös Patrik Kaijansinkon insinööriyön onnistunut pilotointi kyseisellä mobiilirobotilla [31]. Omron LD-250-mobiilirobotilla tullaan toteuttamaan käytännön pilotit.

5.4 Laserit ja sensorit

Omron LD-250-mobiilirobotissa on useita lasereita ja sensoreita vakiovarusteena. Mobiilirobotin edessä on lattiatasosta mitattuna noin 190 mm:n korkeudessa turva- ja navigointiskannerin yhdistelmä, jota kutsutaan myös päälaseriksi. Turva- ja navigointilaserin yhdistelmässä turvalaseri näkee jopa kolmeen metriin asti, ja navigointilaseri pystyy lukemaan ympäristöä jopa 15 metrin päästä. Mobiilirobotin alatasossa on laserskanneri, jota käytetään esteiden skannaamiseen lattiatasolla, joita päälaseri ei näe. Alatason laseri auttaa tunnistamaan myös yhtenäiset esteet, jotka ovat lattiatasossa erikokoisia kuin päälaserin tunnistama este hiukan korkeammalla. [32.]

Mobiilirobotin takana ovat myös sensorit, jotka tunnistavat esteet, jotka ovat lähellä mobiilirobotin takaosaa [32.] Näitä takasensoreita ei voida kuitenkaan käyttää valvomaan R8i-moduulin asennusalustan aluetta, koska suunniteltavassa kuljetusratkaisussa komponentteja tulee takasensoreiden eteen. Päälaseri näkee noin 240 asteen suuruisen alueen, mutta mobiilirobotin ympärille jää silti kuvan 10 mukaiset katvealueet F ja G.

Kuljetettavan moduulinkin takia on mobiilirobottiin asennettava lisävarusteena saatavat sivulasarit ja takalaseri. Lopullisessa kuljetusratkaisussa takalaseri asennetaan lähelle lattiaa ja se näkee alueen, joka on puoliympyrän muotoinen. Takalaseri korvaa siis mobiilirobotin omat takasensorit.



Kuva 10. Omron LD-250 lasereita ja sensoreita [32].

Kuva 10 havainnollistaa skannereiden ja sensoreiden näköalueet ja niiden ulkopuolelle jäävät alueet. Taulukkoon 6 on koottu kuvan 10 kirjaimien selitteet.

Taulukko 6. Kirjaimien selitteet kuvalle 10.

A	LD-250 ylhäältä päin
B	Turva- ja navigointilaserin näköalue
C	Vasen takasensori
D	Keskimmäinen takasensori
E	Oikea takasensori
F	Vasen mahdollinen katvealue
G	Oikea mahdollinen katvealue

Hätäjarrutus voi tapahtua, jos mobiilirobotti pakotetaan ohjelmoimalla kulkemaan yli 300 mm/s takaperin. Pilotissa on käytettävä peruutusominaisuutta kuljetusratkaisun takia. 300 mm/s on siis ehdoton huippunopeus mobiilirobotin peruutukselle, jotta toiminnan varmuus säilytetään hyväksyttävällä tasolla. Omron LD-250-mobiilirobotti on varustettu standardien DIN EN 1525 ja ANSI B56.5 määrittämällä huippunopeuden valvontajärjestelmällä. Mobiilirobotti ei voi siis kääntyä tai liikkua mihinkään suuntaan suuremmalla nopeudella kuin 300 mm/s, jos turvalasari ei ole aktiivinen. [32.]

Kaikkia mobiilirobotin lasereita yhdistää yksi ongelma. Lasari ei pysty luotettavasti tunnistamaan kiiltäviä tai läpinäkyviä kohteita, kuten lasia, peilejä tai muita korkeakiiltoisia pintoja. Tämä seikka on otettava huomioon, kun mobiilirobotille suunnitellaan reittiä ja moduulin otto- sekä jättöpaikkoja.

5.5 Kuljetusratkaisu

Kuljetusratkaisu kehitetään R8i-moduulin ja System Modules -tuotantoyksikön ympärille eli moduulien valmistus/testausprosessia ei lähtökohtaisesti muuteta, vaikka mobiilirobotti tuleekin prosessiin uudeksi tekijäksi. Moduulit koestetaan pystyasennossa, jonka jälkeen ne viedään koestamon ulkopuolelle odottamaan toimitusta. Vaihtoehtoinen tapa olisi kääntää moduulit vaakatasoon koestuksen jälkeen. Kääntämisessä poltetaan kuitenkin mobiilirobotilla tavoiteltava mahdollinen säästö, joten moduulin kääntäminen on poissuljettu vaihtoehto. Valmiin moduulin kuljettaminen mobiilirobotilla tullaan toteuttamaan siis pystyasennossa hyödyntäen tämänhetkisiä moduulien asennusalustoja. Moduuleja kuljetetaan tällä hetkellä käsin työntämällä, mutta moduulia tullaan vetämään mobiilirobotilla kiinteällä kuljetusratkaisulla. LD-250-mobiilirobotilla ei voida työntää moduuleja nykyisen toimintatavan tapaan, koska silloin mobiilirobotin edessä olevat päälasarit eivät näe.

Mobiilirobotti joutuu kääntymään oman keskipisteensä ympäri esimerkiksi ahtaissa tiloissa tai tarkkuutta vaativissa siirtymisissä. Aikaisemmin mainittu moduulien asennusalusta luo omat haasteensa, koska edessä olevat kaksi pyörää eivät käänny ja takana olevat kaksi kääntyvät, mutta ovat lukolliset. Mobiilirobotin kääntyessä oman keskipisteensä ympäri moduulin asennusalustan kääntymättömät ja lukkiutuvat pyörät vastustavat kääntöliikettä liikaa. Vastustuksen takia asennusalustan renkaat kuluisivat ennen

pitkää epätasaisiksi. Mitä suurempi kuluminen asennusalustan renkaissa on, sitä epävakampi on renkaan rullaus. Moduuli täytyy siis nostaa ilmaan, etteivät asennusalustan pyörät kosketa lattiaa.

Asennusalustassa on kaksi punaista vipua, jotka lukitsevat moduulin turvallisesti asennusalustaan. Lukituksissa on kuitenkin huomattavaa välystä, jotka on siihen suunniteltu helpottamaan asennusalustan asennusta moduulille. Mobiilirobotin jarruttaessa äkillisesti välyksistä on haittaa, koska lukitukset pääsevät silloin vaurioitumaan helpommin. Kuljetusratkaisussa on siksi oltava tukeva rakennelma moduulia varten. Tukeva rakennelma saadaan aikaiseksi alumiiniprofiileilla ja moduulia puristavien ”saksien” avulla.

Kuvassa 11 on kuljetusratkaisu, joka kiinnittyy Omronin LD-250-mobiilirobottiin. Kuljetusratkaisun suunnittelussa on huomioitu seikkoja, joita on jo avattu aiemmin tässä alaluvussa.

Moduuli nousee ylös, ettei sen renkaat kosketa maata ja samalla ”sakset” puristuvat moduulin kylkiin kiinni tuomaan lisätukea. Kuljetusratkaisu on toista pilottia varten suunniteltu puoliautomaattiseksi systeemiksi Omron LD-250-mobiilirobotin kanssa. Kuljetusratkaisuun on asennettu kaksi induktiivista anturia tarkkailemaan, että moduuli on turvallisesti mobiilirobotin kyydissä. Kun moduuli on turvallisesti kyydissä jää mobiilirobotti odottamaan ylös/alas -käskeyä, jotka voidaan toteuttaa kuljetusratkaisun kylkeen asennetuilla nappuloilla. Kyseiset nappulat on merkitty toimintonsa mukaan ylhäältä alas -järjestyksessä ylös, alas ja hätäseis.

Omron LD-250-mobiilirobottiin on asennettu sininen huomiovalo, kuten tehdasympäristön pinoamisvaunuihin ja materiaali-juniinkin on. Sinisen huomiovalon tarkoitus on herättää jalankulkijoiden ja muiden koneenkäyttäjien huomio. Huomiovalo palvelee eniten, kun mobiilirobotti on kulman takana, joka peittää näkyvyyden. Huomiovalo on asennettu mobiilirobotin etuosaan siten, että se valaisee lattiaan pienen sinisen alueen muutaman metrin päähän mobiilirobotista.

R8i-moduulin asennusalustan renkaat jouduttiin vaihtamaan toimittajan toimesta, koska kuljetusratkaisun suunnittelussa oli tapahtunut mittavirhe. Vaihdetut renkaat ovat kuitenkin hyvin saman tyyppiset kuin asennusalustan alkuperäiset renkaat. Jos moduuleja

päädytään kuljettamaan mobiilirobotilla tulevaisuudessa, täytyy uuden kuljetusratkaisun olla kapeampi kohdasta, joka menee moduulin asennusalustan alle.



Kuva 11. Omron LD-250-mobiilirobotti ja toisen pilotin kuljetusratkaisu

6 Pilotti

Pilotointi suoritetaan kahdessa osassa. Ensimmäisessä pilotissa selvitetään, voidaanko Omronin LD-250-mobiilirobotilla ylipäätään kuljettaa moduulin asennusalustaa mobiilirobotin perässä. Ensimmäisessä pilotissa mobiilirobotilla ei ole R8i-moduulia kyydissään, ainoastaan sen asennusalusta. Ensimmäisen pilotin pohjalta syntyy päätös toisen pilotin toteutukselle. Ensimmäisen pilotin on tarkoitus kestää yhden päivän ajan.

Toisessa pilotissa tehdään yleiset turvallisuuteen liittyvät testit R8i-moduulin kanssa. Pilotissa on käytössä myös erikseen suunniteltu kuljetusratkaisu, josta on kerrottu aluvussa 5.5. Pilotissa selviää myös lopullinen mobiilirobotin suorituskyky suunnitellulla kuljetusratkaisulla ja sitä kautta teoreettinen yhden mobiilirobotin käyttöaste moduulien kuljetuksessa. Toisen pilotin on tarkoitus kestää kahden viikon ajan.

Pilotteihin kuuluu paljon esivalmisteluita sulavan toiminnan varmistamiseksi siihen asti, kunnes mobiilirobotti saadaan fyysisesti paikan päälle. Pilotoinnin tärkein aihealue on totta kai turvallinen moduulin kuljettaminen pystyasennossa niin ettei yleisesti ihmisille tai laitteistoille koidu vahinkoja. Pilottien aikana saadaan vastaus ennalta asetettuihin tutkimuskysymyksiin, jotka esiteltiin tämän insinööriyön johdannossa. Lisäksi pilotointien aikana tarkkaillaan mobiilirobotin luomaa vuorovaikutusta mobiilirobotin ja ihmisen välillä.

Samassa tehdasympäristössä on pilotoitu mobiilirobotteja aiemminkin, mutta muutamia asioita ei ole saatu selville aikaisemmissa tutkimuksissa ja piloteissa:

- Moduulin kuljetusta pystyasennossa ei ole tutkittu.
- Moduulin asennusalustan hyödyntämistä kuljettamisessa ei ole tutkittu.
- Ei ole kokemuksia moduulin kuljettamisesta mobiilirobotin takana.
- Moduulin koko ja painopiste poikkeavat aikaisemmista tutkimuksista ja piloteista.

Aikaisempien ja tämän insinööriyön pilottien yleinen tarkoitus on myös ollut tutkia eri käyttömahdollisuuksia, joiden kautta yhdellä mobiilirobotti-mallilla olisi mahdollista kuljettaa enemmän erilaisia taajuusmuuttajia. Jos on mahdollista löytää yksi mobiilirobotti-malli, olisi tulevaisuudessa helpompi yhtenäistää muidenkin tuotantolinjojen prosessit sulavasti yhdeksi isoksi kokonaisuudeksi.

Koska Omronin LD-250-mobiilirobottia on pilotoitu jo aikaisemmin identtisessä tehdas-ympäristössä Patrik Kaijansinkon insinööriyön yhteydessä, voidaan osittain käyttää samoja turvallisuustestejä kyseisestä työstä tämänkin työn piloteissa. Pystyasennossa kuljetettava taajuusmuuttaja tuo esille omat haasteensa korkealla sijaitsevan painopisteen takia, joten sitä ajatellen on luotava myös erilaisia testejä.

6.1 Alkutilanne

Pilotointien alussa käytiin lävitse perusasioita mobiilirobotin ominaisuuksista, toiminnallisuudesta, huomioitavia asioita turvallisuudessa ja lopuksi mobiilirobotin ohjelmoinnista. Mobiilirobotin käyttöönotto alkoi akun kytkemisellä mobiilirobotin takaluukun kautta. Mobiilirobotti käynnistettiin nappia painamalla. Käynnistysprosessi vei muutaman minuutin.

Mobiilirobottiin oli asennettu oma modeemi mobiilirobotin toimittajan toimesta. Liittyminen mobiilirobottiin toteutettiin langattomasti modeemin luoman verkon kautta, vaikka mobiilirobottiin olisi voinut kytkeytyä myös langallisesti verkkopiuhun avulla. Langaton yhteys helpotti mobiilirobotin ohjelmointia ja hallintaa. Yhteyden saavuttamisen jälkeen avattiin mobiilirobotin ohjelmointiin tarkoitettu ohjelmisto nimeltä MobilePlanner. Ohjelmiston kautta oli mahdollista toteuttaa mobiilirobotin ohjelmointi, asetuksien ja parametrien muuttaminen, sekä ennen kaikkea SLAM-kartan luominen. MobilePlannerista voidaan myös seurata mobiilirobotin liikettä reaaliajassa.

6.2 SLAM-kartoitus ja ohjelmointi

Loimme SLAM-kartan ensimmäisen pilotin yhteydessä, koska se oli välttämätöntä mobiilirobotin toiminnan kannalta. Kartan luominen oli helppoa, kun siihen oli saatu kattava opastus mobiilirobotin toimittajalta. Kartan luominen alkoi käsiohjaimen liittämällä mobiilirobottiin, jonka jälkeen oli MobilePlanner-ohjelmistossa asetettava mobiilirobotti kartan luomistilaan. Kartoituksen pystyy tekemään yhdellä kerralla koko alueelle, mutta halutessaan kartoituksen voi pilkkoa osiin.

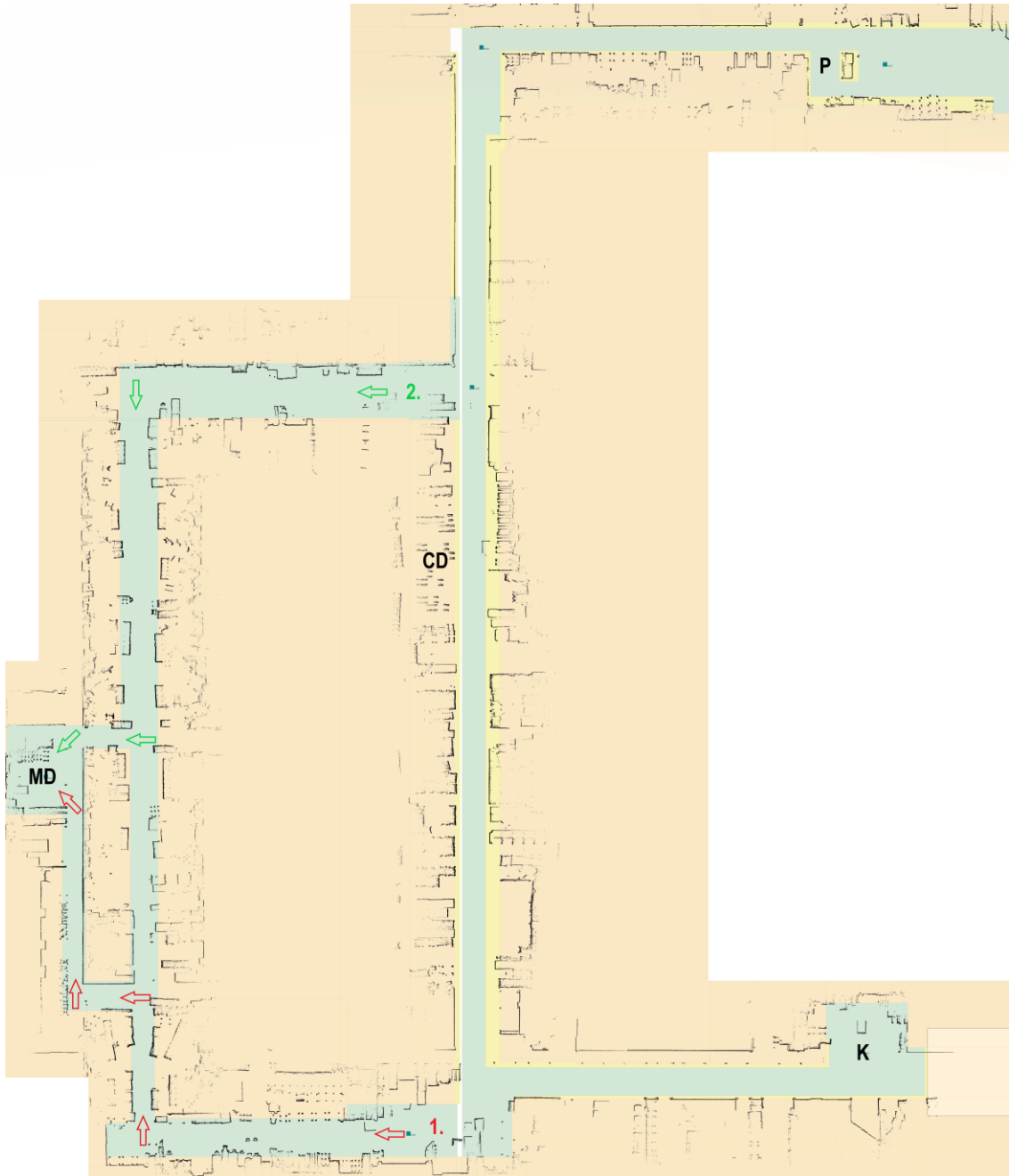
Kartoitus tapahtui ajamalla mobiilirobottia ensin haluttuun kohteeseen, jonka jälkeen ajetaan takaisin lähtöpisteeseen, josta kartoitus aloitettiin. Esimerkiksi System Modulesin

koestamosta pakkaamolle ja takaisin. Useaan suuntaan ajaminen on tärkeää, koska Omron LD-250-mobiilirobotin päälaseri ei näe suoraan taakse eikä tarpeeksi takaviistoihin. Reitin ajaminen molempiin suuntiin mahdollisti koko ympäristön skannaamisen. Ympäristön skannaamisen jälkeen, data ladattiin tietokoneelle, joka suoritti kartan siistimisen omilla algoritmeillaan. Tietokoneen suorittaman siistimisen jälkeen karttaa on mahdollista muokata vielä manuaalisesti. Kartan siistimiset ja muokkaamiset ovat välttämättömiä vaiheita, koska mobiilirobotti saattaa skannata kartalle ylimääräisiä, ei toivottua pisteitä. Ylimääräisiä pisteitä ovat kaikki ei fyysisesti kiinteät kohteet, joiden paikka voi vaihtua useasti.

Kartalle piti seuraavaksi asettaa eri värisiä alueita, joilla on omat merkityksensä. Vihreä alue on ensisijaista aluetta, jolla mobiilirobotti voi liikkua, mutta sille on annettu esimerkiksi tietty nopeusrajoitus. Keltaisella alueella mobiilirobotti voi liikkua, mutta sitä pitää välttää. Oranssilla alueella mobiilirobotti ei saa ajaa. Mobiilirobotti saattaa joutua kääntymään vihreän ja oranssin rajan tuntumassa. Tällöin on vaarana, että mobiilirobotille asetettu fyysinen kehä menee oranssille alueelle. Kyseisessä tilanteessa mobiilirobotti menee vikatilaan, jolloin se täytyy työntää manuaalisesti vihreälle alueelle. Keltaista aluetta kannattaa käyttää vihreän ja oranssin alueen välissä, koska silloin mobiilirobotti ei joudu edellä mainittuun ongelmatilanteeseen. Kuvassa 12 on ensimmäisen pilotin yhteydessä luotu kartta, josta nähdään myös alueiden värit. Alueiden asettamisen ja niiden ominaisuuksien muokkauksien jälkeen kartalle asetettiin muutama maalitaulu, johon mobiilirobotin piti ajaa. Maalien asettamisen jälkeen voitiinkin aloittaa mobiilirobotin itsenäinen ajaminen ja navigointi.

Suuremman yhden mobiilirobotin käyttöasteen takaamiseksi on järkevämpää kuljettaa samalla mobiilirobotilla kaikkia mahdollisia taajuusmuuttajamalleja mahdollisen moneen paikkaan. Yksi kuljetusreitti tulee olemaan System Modulesin koestamosta pakkaamoon, josta pakattu taajuusmuuttaja lähtee asiakkaalle. Pakkaamoon kuljettamisen lisäksi käyttökohteita ovat CD- ja MD-moduulipuskurit. Matka CD-moduulipuskurille System Modulesin koestamosta on noin puolet lyhyempi kuin matka System Modulesin koestamosta pakkaamolle. Matka MD-moduulipuskurille on System Modulesin koestamosta suurin piirtein yhtä pitkä kuin matka System Modulesin koestamosta pakkaamoon. Vaikka reitti pakkaamoon on pitkä, on reitillä vähemmän käännoksiä. Mobiilirobotin kääntäessä hävitään maksiminopeus, joka saavutetaan pitkällä ja suoralla reitillä. Reitti MD-

moduulipuskurille on vaikea ja vaatii paljon käännöksiä. Lisäksi ajettaessa tuotantolinjalla on mobiilirobotin kuljettava hitaammin turvallisen toiminnan takaamiseksi.



Kuva 12. SLAM-kartta.

Kuvaan 12 on merkitty System Modules -koestamo (K), pakkaamo (P), Cabinet Drives -moduulipuskuri (CD) ja Multidrive-moduulipuskuri (MD). Lisäksi samaan kuvaan on

tehty hahmotelma nuoliilla kahdesta eri kulkureitistä Multidrives-moduulipuskurille, joita tutkitaan piloteissa.

Mobiilirobotin reitti System Modulesin koestamosta pakkaamoon tulisi olla mahdollisimman lyhyt kulkematta muiden tuotantolinjojen läpi. Ainoa mahdollisuus on siis kulkea pääkäytäviä pitkin, jotka ovat tilavimpia, mutta samalla vilkkaimpia väyliä jalankulun ja logistiikan takia. Kuvassa 12 pääkäytävät ovat lyhyimmän reitin muodostavat suorat pysty- ja vaakatasossa kulkevat vihreät alueet.

Cabinet Drivesin moduulipuskurille on mobiilirobotin helppo päästä. Suorin reitti on kulkea pääkäytävää pitkin kuvaan 12 merkittyjen K ja CD välillä. Multidrivesin moduulipuskurille on mobiilirobotin ajettava Multidrives-tuotantolinjan lävitse. Mahdollisia reittejä on kaksi, jotka on kuvassa 12 merkitty numeroin 1 ja 2. Reitti 1 on lyhyempi, mutta kyseisellä reitillä on enemmän mobiilirobotin navigointia häiritseviä muuttujia, jotka saattavat häiritä kuljetusta. Lisäksi reitti 1 on ahtaampi reittiin 2 verrattuna. Reitti 2 on pidempi, mutta mobiilirobotille helpompi kulkea. Reitin 2 ollessa tilavampi on mobiilirobotilla pienempi mahdollisuus jäädä jumiin ongelmatilanteissa.

6.3 Ensimmäisen pilotin tulokset

Koska ensimmäisen pilotin tarkoituksena oli vain selvittää, onko mobiilirobotilla mahdollista vetää asennusalustaa perässään, oli ratkaisu myös sen näköinen. Omronin LD-250-mobiilirobotin perään oli asennettu alumiiniprofiilein ja pultein R8i-asennusalusta (kuva 13). Ensimmäisen pilotin ratkaisussa asennusalustan kääntymättömät renkaat olivat ilmassa ja kääntyivät maassa. MobilePlannerin kautta oli mobiilirobotille asetettu uudet fyysiset mitat, jotka huomioivat suuren peräilytyksen, jonka asennusalusta aiheutti. Uusilla fyysisillä mitoillaan osasi Omron LD-250-mobiilirobotti navigoida yhtenä kokonaisuutena. Tämä on ehdotonta, koska käännöksissä tulisi muuten ongelmia vakiota suuremman kääntösäteen takia. Peräilytyksen mitat tulevat olemaan suurin piirtein samat toisessakin pilotissa, joten voimme arvioida lopullisen kuljetusratkaisun toimivuutta jo ensimmäisen pilotin tuloksien pohjalta.



Kuva 13. Omron LD-250-mobiilirobotti ja R8i-asennusalusta.

Ensimmäisessä pilotissa huomasimme sivulaserien ehdottoman tärkeyden suuren pe-
räilyksen takia. Sivulasereita ympäröivät valkoiset 3D-tulostetut suojat, jotka nähdään
kuvasta 13. Ilman sivulasereita ei mobiilirobotti näe suoraan taakseen, eikä osaa ottaa
asennusalustaa huomioon. Sivulaserin näköalue on mobiilirobotin etu- ja takapäin väliin
muodostuva puoliympyrä. Sivulaserit ovat hyvä lisä, koska mobiilirobotin omat laserit ei-
vät näe juurikaan niiden omalta korkeudelta ylöspäin. Sivulaserit tekevät mobiilirobotista
turvallisemman. Kuvassa 10 näkyvät katvealueet F ja G poistuivat kokonaan. Mobiiliro-
botin taakse jäi kuitenkin katvealue, koska mobiilirobotin takasensorit olivat poistettu käy-
töstä asennusalustan takia. Katvealue saadaan poistettua erikseen asennettavan taka-
laserin avulla.

Aluksi mobiilirobotilla ajettiin System Modules -koestamon edustalla, tehdastason pää-
käytävillä ja pakkaamossa. Reitit olivat ihanteelliset leveiden käytävien ja avonaisten
käännöksiä ansiosta. Reiteillä oli paljon liikennettä, joten testiajot olivat realistiset.

Mobiilirobotti osasi ennakoida ja väistää esteitä, kuten ihmisiä, pinoamisvaunuja ja materiaalijunia. Vaikka mobiilirobotti osaa väistää esteitä, niin se ei kuitenkaan tarkoita, ett-eikö sitä päin silti voisi ajaa tai kävellä. Mobiilirobotti ajoi lähes virheettömästi asennus-alustan kanssa edellä mainituilla reiteillä.

Lopuksi ajoimme mobiilirobotilla myös Cabinet Drives- ja Multidives-koestamojen edessä sekä Multidives-tuotantolinjalla. Tarkoituksena oli testata mobiilirobotin käyttäytymistä ahtaassa ja muuttuvassa ympäristössä. Tulokset olivat lupaavia ja tuotantolinjoilla ajaminen oli suurimmaksi osaksi vaivatonta. Ahtaimmissa kohdissa mobiilirobotti epäröi eniten ja pysähteli välillä, kun luuli osuvansa seinään tai muuhun esteeseen. Multidivesin moduulipuskurille oli kaksi järkevää reittiä, jotka oli esitelty kuvassa 12 numeroilla 1 ja 2. Totesimme reitin numero 2 olevan parempi vaihtoehto mobiilirobotille, koska kiinteitä suunnistuspisteitä oli enemmän ja navigointia aiheuttavia häiriötä oli vähemmän. Lisäksi reitti 1 ei ollut turvallinen suuren pinoamisvaunu- ja materiaalijunaliikenteen takia, jonka aiheutti tavaravastaanoton sijainti.

Multidives-tuotantolinjan käytävät ovat hyvin kapeita ja eniten hankaluuksia aiheutti 90 asteen käännökset. Omron LD-250-mobiilirobotti ei osaa peruuttaa, jos tulee tilanne, että kiertoreittiä ei voida suorittaa suoraan ajamalla. Ympäri kääntyminen ja takaisinpäin ajamistaakaan ei ole välttämättä mahdollista suorittaa, koska mobiilirobotin kääntösäde on suuri. Ensimmäinen pilotti suoritettiin realistisessa tilanteessa, eikä silloin moista tilannetta syntynyt. Tilanne on kuitenkin mahdollinen ja se on otettava huomioon tulevaisuudessa.

Tutkimme myös aikaa, mikä mobiilirobotilta kului System Modulesin koestamolta pakkaamoon, Cabinet Drivesin moduulipuskurille ja Multidivesin moduulipuskurille. Ajoaika pakkaamoon oli keskimäärin 4 minuuttia ja 20 sekuntia. Cabinet Drivesin moduulipuskurille aikaa kului keskimäärin 1 minuutti ja 40 sekuntia. Multidivesin moduulipuskurille aikaa kului keskimäärin 3 minuuttia ja 50 sekuntia. Todellinen kokonaisaika syntyy moduulin otto- ja jättöajan lisäämisestä ajoaikaan. Tarkat moduulin otto- ja jättöajat selviävät toisessa pilotissa. Ajoajoissa on kuitenkin optimoimisen varaa mobiilirobotin asetuksia muokkaamalla ja paremman SLAM-kartan luomisella.

6.4 Toisen pilotin tulokset

Toisen pilotin päätarkoitus oli selvittää mobiilirobotin lopullinen soveltuvuus moduulien kuljetuksessa. Pilotin yhteydessä suoritettiin myös turvallisuuteen liittyviä testejä. Pilotointi oli kokonaisuutena onnistunut ja kaikki ennalta asetetut pilotin tavoitteet saavutettiin.

Toinen pilotti lähti liikenteeseen suunnitellun kuljetusratkaisun koulutuksella, jossa käytiin lävitse laitteistoa yleisellä tasolla, huomioitua asiain turvallisuudessa ja mobiilirobotin sekä kuljetusratkaisun muodostaman kokonaisuuden valmiit toiminnot. Koulutuksessa katsottiin lävitse myös kaikki mobiilirobotin asetukset ja parametrit, jotka olivat pilotin kannalta tärkeitä.

SLAM-kartoitus tapahtui samaan tapaan kuin ensimmäisessäkin pilotissa. Olisimme voineet käyttää ensimmäisen pilotin SLAM-karttaa, mutta paremman lopputuloksen takaamiseksi oli SLAM-kartoitus tehtävä uudelleen. Verrattuna ensimmäiseen pilottiin uusi SLAM-kartta oli tehty huolellisemmin ja mobiilirobotin asetusten optimointiin oli käytetty enemmän aikaa. Paremman SLAM-kartan ja mobiilirobotin asetusten optimoinnin ansiosta mobiilirobotin ajoajoissa huomattiin muutoksia. Ajoaika pakkaamoon oli keskimäärin 3 minuuttia ja 20 sekuntia. Parannusta ensimmäisestä pilotista syntyi minuutin verran. Ajoaika Cabinet Drivesin moduulipuskurille ei muuttunut ensimmäisen pilotin tuloksesta 1 minuutti ja 40 sekuntia. Multidivesin moduulipuskurille aikaa kului keskimäärin 3 minuuttia ja 5 sekuntia. Parannusta ensimmäisestä pilotista syntyi minuutin verran. Pilotin aikana mitattiin moduulin otto- ja jättöajaksi keskimäärin 25 sekuntia.

Mobiilirobotilla ei kuitenkaan jostain syystä voitu ajaa Omronin lupaamaa jopa 1,2 m/s huippunopeutta. Mobiilirobotin saavuttaessa 1,2 m/s huippunopeuden meni se vikatiilaan, jonka jälkeen mobiilirobotille piti suorittaa turvalaserin kalibrointi. Ongelmaa ei ilmennyt, kun huippunopeuden muutti arvoon 1,1 m/s. Pienempi huippunopeus vaikutti kuitenkin mitattuihin ajoaikoihin ja törmäystestien tuloksiin.

Moduulien otto- ja jättöpaikat olivat mobiilirobotille ihanteelliset. Liikkumistilaa oli tarpeeksi ja kiintopisteitä oli sopivasti. Hyvän ympäristön ansiosta Omron LD-250-mobiiliroboti saavutti keskimäärin ± 2 cm toistotarkkuuden, kun se ajoi moduulin otto- tai jättöpisteeseen. Toistotarkkuus on sopiva tässä käyttötarkoituksessa. Muu ajoympäristö on

mobiilirobotille hyvin avoin ja suuri. Välillä mobiilirobotti kadotti itsensä, koska siirtymät olivat pitkiä ja kiintopisteitä ei ollut tarpeeksi. Ongelma poistui, kun SLAM-kartan luomisvaiheessa kartalle jätettiin enemmän kiintopisteitä, jotka eivät ole fyysisesti aina samassa paikassa. Täydellisessä SLAM-kartassa on ainoastaan pisteet, jotka ovat ajoympäristössä fyysisesti aina samassa paikassa. Omronilla on kuitenkin teknologiaa, jonka avulla tarkka paikannus voidaan toteuttaa myös hyödyntämällä ainoastaan kattovalaisimia. Tätä teknologiaa kutsutaan nimellä Omron Acuity Localization (suom. tarkkanäköinen paikannus). Acuity Localization on vartenotettava lisäosa, jos Omron LD-250-mobiilirobotista tahdotaan entistä luotettavampi.

Mobiilirobotin yleisen optimoinnin jälkeen mobiilirobotilla suoritettiin turvallisuuteen liittyvät testit. Testien tulokset ja niihin liittyvät huomiot ovat erikseen kerrottu alaluvussa 6.5.

6.5 Turvallisuus

Mobiilirobotin täytyy olla tarpeeksi turvallinen, jotta se ei vahingoita ketään ihmistä, laitteistoja, valmistettuja taajuusmuuttajia tai yleisesti tehdasympäristöä. Tehtaassa työskentelee satoja ihmisiä, jotka kävelevät tai käyttävät materiaalien kuljetukseen tarkoitettuja pinoamisvaunuja tai materiaalijunia. Kaikki edellä mainitut liikkuvat muuttujat on otettava huomioon ja mietittävä, miten mobiilirobotti voidaan implementoida nykyiseen tehdasympäristöön mahdollisimman turvallisesti.

Mobiilirobotin huomiointia voidaan parantaa ilman ulkoisia lisälaitteita. Omron LD-250-mobiilirobotin kyljissä on kirkkaat valokiekot, joita voidaan hyödyntää herättämään ihmisten visuaalinen huomiointi. Valokiekot ovat aktiivisina koko ajan, kun mobiilirobotti on käynnissä. Normaalitylanteessa valokiekot indikoivat pyörivällä sinisellä valolla. Mobiilirobotin pysähtyessä ilman ongelmaa valokiekot vilkuttavat sinistä valoa hitaasti. Mobiilirobotin pysähtyessä ongelmatilanteessa valokiekot vilkuttavat oranssia valoa hitaasti. Häätäjarrutuksen tapahtuessa valokiekot vilkuttavat punaista valoa. Valokiekot indikoivat pyörivää sinistä ja oranssia väriä, kun mobiilirobotti kääntyy yli 30 astetta sekunnissa. Mobiilirobotin ollessa latauksessa valokiekot näyttävät akun varauksen vihreällä värillä. [32.]

Suurten kulkureittien ylitykset tai niihin liittymiset ovat toteutettavissa turvallisesti siten, että mobiilirobotti ohjelmoidaan ajamaan hiljempaa, kun se liittyy suuremmalle kulkureitille. Lisäksi mobiilirobotti voidaan ohjelmoida odottamaan muutama sekunti ennen kuin se liittyy suuremmalle kulkureitille. Näiden muutaman sekunnin aikana ihminen ehtii huomioida mobiilirobotin ja sen aikeet. Mobiilirobotin omilla kiihtyvyyasetuksilla voidaan myös tehdä mobiilirobotti turvallisemmaksi liikkeellelähtöjen aikana.

Omron LD-250-mobiilirobotissa on sisäänrakennetut kaiuttimet, joista voidaan toistaa erilaisia varoitusaäniä ja jopa kirjoitettua puhetta [32]. Äänenvoimakkuus on riittävä ylittämään tehdasympäristön yleisen hälinän ja huminan. Äänentoisto-ominaisuutta voidaan käyttää vapaasti, jos siihen on tarvetta. Varoitusaäntä on käytettävä, kun mobiilirobotti on ohjelmoimalla pakotettu peruuttamaan tai, kun mobiilirobotti peruuttaa automaattisesti lataustelakkaan.

Tärkeimpänä osa-alueena turvallisuuden kannalta on jarrutukset yllättävissä tilanteissa, jossa esimerkiksi ihminen tulee mobiilirobotin ajoreitille osittain tai kokonaan. Törmäystestien aikana mobiilirobotin kyydissä oli R8i-moduuli. Testialueena toimi suora käytävä. Kyseisellä käytävällä oli vähennetty liikennettä, jotta testit saatiin suoritettua rauhassa ja mahdollisimman turvallisesti. Käytävän lattiaan oli merkattuna taulukoiden 7 ja 8 mukaiset etäisyydet suhteessa jarrutuksen aloituskohtaan. Törmäystestin tulos saatiin selvitettyä luotettavasti, kun mobiilirobotti ajoi jarrutuksen aloituskohtaan, jolloin saman aikaisesti mobiilirobotin eteen laitettiin este ennalta merkityille etäisyyksille. Törmäystestit suoritettiin järjestyksessä pisimmästä etäisyydestä lyhimpään ja hitaimmasta nopeudesta nopeimpaan.

Taulukko 7 on luotu kuivan lattian törmäystestejä varten, jonka avulla saadaan testattua pysähtymistä eri nopeuksilla esteen ollessa 3, 2, 1 ja 0,5 metrin etäisyydellä. Nopeudet on ilmoitettu prosentteina, jotka tarkoittavat nopeimmasta hitaimpaan 1,1 m/s, 0,8 m/s, 0,6 m/s ja 0,3 m/s. Törmäystestin tulos on ilmoitettu sarakkeissa fail (suom. epäonnistunut) ja pass (suom. onnistunut). Lisätietokentässä huomioita mobiilirobotin käyttäytymisestä jarrutustilanteessa.

Taulukko 7. Törmäystestien tulokset kuivalla lattialla.

Törmäystesti (kuiva)				
Etäisyys (m)	Nopeus (%)	Fail	Pass	Lisätiedot
3	100		X	
	75		X	
	50		X	
	25		X	
2	100		X	
	75		X	
	50		X	
	25		X	
1	100		X	
	75		X	
	50		X	
	25		X	
0,5	100		X	Pysähtyy ja kiertää
	75		X	Pysähtyy ja kiertää
	50		X	Pysähtyy ja kiertää
	25		X	Pysähtyy ja kiertää

Tehdastason lattiaa pestään useasti viikossa päältä ajettavalla pesurilla. Pesuri käyttää vettä ja lakaisutoimintoa samanaikaisesti. Etenkin törmäyستesteissä on otettava huomioon myös tilanne, jossa lattia on juuri pesty. Kostean lattian törmäyستestissä käytetään etäisyyksinä ainoastaan yhden sekä puolen metrin etäisyyksiä. Taulukko 8 on luotu kostean lattian törmäyستestejä varten, jossa nopeudet ovat prosentteina ja ovat yhtä suuret kuin kuivan lattian törmäyستestissä (taulukko 7).

Taulukko 8. Törmäyستestien tulokset kostealla lattialla.

Törmäyستesti (kosteaa)				
Etäisyys (m)	Nopeus (%)	Fail	Pass	Lisätiedot
1	100		X	
	75		X	
	50		X	
	25		X	
0,5	100		X	Pysähtyy ja kiertää
	75		X	Pysähtyy ja kiertää
	50		X	Pysähtyy ja kiertää
	25		X	Pysähtyy ja kiertää

Törmäystestit olivat onnistuneet kuivalla sekä kostealla lattialla. Suorituskyvyltään eroa ei ollut havaittavissa kuivan ja kostean lattian välillä. Kostealla lattian törmäystestit suoritettiin nopeammalla nopeus- ja etäisyysvariaatioilla, koska kuivan lattian törmäystesteissä huomattiin mobiilirobotin suunnittelevan uuden reitin jo noin 2 metrin etäisyydellä törmäyskohtaan nähden. Mobiilirobotti ehti jarruttamaan aina ilman hätäjarrujen laukeamista täydestä vauhdista jopa puolen metrin törmäysetäisyydellä. Toistin törmäystestit kuivalla ja kostealla lattialla useaan kertaan törmäysetäisyyden ollessa 0,5 metriä ja vauhdin ollessa 1,1 m/s. Toistojen tulokset eivät poikenneet toisistaan.

Törmäystestien lisäksi on tehtävä muitakin kuljetukseen liittyviä testejä:

- suuren esteen väistö
- pienten esineiden vaikutus mobiilirobotin yliajamana
- toimivuus trukin/ihmisen lähellä tai lähestyessä
- eri kiihtyvyyksien kokeilu
- paikallaan kääntymiset eri nopeuksilla
- kulkeminen ahtaissa tiloissa
- ajaminen alle 300 mm/s nopeudella.

Testien tarkoituksena ei ole saada R8i-moduulia tai Omron LD-250-mobiilirobotia kaatumaan tai muulla tavalla rikkoutumaan. Testit on suoritettava, koska poikkeustilanteita voi ilmaantua ja niihin on reagoitava ennen lopullista mobiilirobotin implementointia. Poikkeustilanteet lavastetaan ja niiden pohjalta tehdään yhteenveto Omron LD-250-mobiilirobotin ja suunnitellun kuljetusratkaisun lopullisesta soveltuvuudesta R8i-moduulin kuljetuksessa.

Mobiilirobotti läpäisi kaikki kuljetukseen liittyvät testit. Suurella esteellä tarkoitetaan yleisesti isompaa liikkumatonta tai liikkuvaa estettä ja pienellä esteellä esimerkiksi mutteria. Tehtaan pääkäytävien lattioilla ei pääsääntöisesti ole mitään yliajettavia esineitä, mutta poikkeukset on otettava huomioon. Mutterin yliajossa mobiilirobottiin suunniteltu kuljetusratkaisu hyppäsi mutterin korkeuden verran (4 mm), mutta en koe hypyn vaarantavan kuljetusprosessia, koska mobiilirobotin ja kuljetusratkaisun yhdistelmä on niin tukeva. Vuorovaikutus ihmisten ja trukkien lähellä toimi lähes moitteetta. Mobiilirobotti osasi enakoivasti suunnitella reittinsä ja tarpeen tullen myös väistää ihmisiä ja trukkeja. Mobiilirobotti ajoi joskus liian lähelle estettä, jolloin mobiilirobotti meni vikatilaan, koska

mobiilirobotti ei osaa peruuttaa normaalin ajon aikana automaattisesti. Oletuksena Omron LD-250-mobiilirobotti suunnittelee vaihtoehtoisen reitin, kun havaittu este on kahden metrin päässä. Mobiilirobotti voidaan kuitenkin ohjelmoida siten, että se aloittaa vaihtoehtoisen reitin suunnittelun vieläkin aikaisemmin.

Hitaammilla mobiilirobotin kiihdytyksillä vältettiin esteistä johtuvat nopeat äkkipysähtelyt ja kuljetusratkaisun ylimääräinen rasittuminen. Hitaammat kiihdytykset näkyivät kuitenkin kuljetusaikojen pidentymisenä. Hitailta kiihtyvyyksillä saadaan mobiilirobotti näyttämään entistäkin turvallisemmalta ihmisen silmään, mikä on tärkeä asia. Sama pätee hitaampiin kääntymisnopeuksiin, kun mobiilirobotti kääntyy paikallaan oman keskipisteensä ympäri. Mobiilirobotti on itsessään jo hyvin vakaa, mutta sulavammat liikkeet saavat mobiilirobotin näyttämään entistäkin vakaammalta. Nopeimmat mahdolliset kiihtyvyydet asettivat mobiilirobotin vikatilaan, kun mobiilirobotti joutui kääntymään ja kiihdyttämään samanaikaisesti. Vikatilanteissa mobiilirobotti vaatii aina ihmisen apua, joka ei ole tavoiteltavaa.

Ahtaassa ympäristössä ajamista kokeiltiin Multidrivesin tuotantolinjalla. Ajaminen onnistui sulavasti, kunhan ajoreitillä ei ollut esteitä kuten tasotikkaita tai johdotuspöytiä. Käännökset olivat jyrkkiä ja ahtaita, mutta mobiilirobotti onnistui kulkemaan niistä luotettavasti. Samalla saatiin testattua luotettava ajaminen alle 300 mm/s nopeudella. Ajosuoritus oli yhtä luotettavaa kuin nopeammillakin nopeuksilla.

7 Jatkokehitys

7.1 Mobiilirobotin lisälaitteet ja kuljetusratkaisu

Omron LD-250-mobiilirobotille tarvitaan lataustelakka automaattista latausta varten. Latausaseman sijainti olisi oltava mahdollisimman keskeisellä paikalla ja mielellään lähellä System Modules -koestamoa. Latausasemaa ei kannata asentaa System Modules -koestamon edessä sijaitsevalle moduulien noutopisteelle, koska latausaseman vaatima tila syö noutopisteen moduulien säilytysmäärää. Lataustelakan ympärille on huomioitava tarpeeksi tilaa, jotta mobiilirobotti voi luotettavasti mennä lataukseen ilman häiriöitä. Latausaseman mittojen on oltava vähintään 2,5 metriä leveydeltään ja pituudeltaan.

Latausasema rajattaisiin keltaisella lattiateipillä indikoimaan, että latausasema on varattu vain mobiilirobotille ja sen laitteistolle. Latausaseman mitat ovat huomattavasti isommat kuin mobiilirobotin ja kuljetusratkaisun yhdistelmän mitat, koska kuljetusratkaisu tulisi mobiilirobotin viereen, kun mobiilirobotin lataus on käynnissä. Tämänhetkisen kuljetusratkaisun ollessa mobiilirobotissa kiinni ei mobiilirobotti voi mennä lataukseen itsenäisesti. Vaihtoehtoinen tapa olisi suunnitella kuljetusratkaisu uudelleen siten, että mobiilirobotti voi mennä lataukseen itsenäisesti.

Tehdasympäristössä on isoja trukkeja, joiden ohjaamosta näkyvyys tehdasympäristöön on huono avonaisellakin paikalla, kun trukeissa on kuormaa kyydissä. Isoja trukkeja varten mobiilirobotin kuljetusratkaisun ylimpään kohtaan täytyy asentaa vilkkuva oranssi valo, joka on päällä aina, kun mobiilirobotti on käynnissä. Vilkkuvälön avulla saadaan lisättyä mobiilirobotin näkyvyyttä tehdasympäristössä. Samalla vaaratilanteiden mahdollisuus pienenee.

Toista pilottia varten suunniteltuun kuljetusratkaisuun ei voitu suunnitella mahdollisuutta kuljettaa R6i- ja R7i-moduuleja. R6i- ja R7i-moduulien rakenteen ja niille tarkoitetun asennusalustan yhdistelmä ei sovi R8i-moduulille suunniteltuun kuljetusratkaisuun. R6i- ja R7i-moduulit ovat samankokoisia, joten niiden kesken olisi huomattavasti helpompaa hyödyntää yhtä kuljetusratkaisua ja R8i-moduulia varten erikseen suunniteltua kuljetusratkaisua. Vaihtoehtoinen tapa on suunnitella R6i- ja R7i-moduuleja varten uusi asennusalusta, jotka sopisivat R8i:lle suunniteltuun kuljetusratkaisuun.

7.2 Kuljetusprosessi

Tässä asiayhteydessä käytän SAP ERP -tuotannonohjausjärjestelmästä yleisnimitystä SAP. Täysin automaattisen moduulin noudon System Modules -koestamosta vaatii SAP:sta tietoja kuljetettavasta moduulista. SAP:sta saatavassa tiedossa on vähintään ilmentävä moduulin sarjanumero ja toimituskohde. Toimituskohdeita ovat tässä insinööri-työssä pakkaamo, CD-moduulipuskuri ja MD-moduulipuskuri. Tarvittava tieto on jo valmiiksi olemassa, mutta se vaatii ratkaisun, jolla se tieto saadaan pyydettyä SAP:sta.

Omron LD-250-mobiilirobotissa on kattava liityntäpaneeli, jonka avulla on mobiilirobotti mahdollista sulauttaa osaksi muita järjestelmiä. Liityntäpaneelin avulla on siis

mahdollista luoda konenäkösovellus itse Omron LD-250-mobiilirobottiin. Kaikissa mobiilirobotilla kuljetettavissa System Modulesilla valmistettavissa moduuleissa on moduulin etupuolella QR-koodi, jonka kautta voidaan saada tieto moduulin sarjanumerosta ja toimituskohteesta. Samaa QR-koodia voidaan hyödyntää tulevaisuudessa, kun mobiilirobotti joutuu asemoimaan itsensä asennusalustaan nähden moduulin noutamista varten. Vaihtoehtoinen tapa on lisätä moduulien asennusalustoihin kohdistuspiste, jota mobiilirobotin päälaseri voi käyttää asemoimistilanteessa.

Omron valmistaa mobiilirobottien hallintajärjestelmää nimeltä Omron Fleet Manager. Fleet Manager toimii usean tai yhden mobiilirobotin valmiina rajapintana esimerkiksi SAP:lle. Fleet Manager voidaan kuvitella mobiilirobottien aivoina, jotka ohjaavat mobiilirobotit tuottamaan mahdollisimman tehokkaan moduulien toimittamisen haluttuihin kuljetuskohteisiin. Fleet Manager sulauttaa kaikki Omronin mobiilirobotit yhdeksi tiimiksi, jonka kautta voidaan mobiiliroboteille asettaa työtehtäviä, hallita työtehtävien kriittisyyttä ja suorittaa liikenteenhallintaa. [33.] Fleet Managerin toimiessa SAP:n kanssa on moduulien noutopisteen moduulijonoja helpompi hallita ja samalla asettaa prioriteetteja mobiiliroboteille, että mistä jonosta pitää moduuli noutaa ensimmäiseksi. SAP:ssa on valmiina olemassa data moduulin koestuksen suorittamisesta. Fleet Manager voi hyödyntää edellä mainittua dataa, kun se luo mobiilirobotille työjonoa.

Tällä hetkellä ei ole olemassa dataa moduulin kuljetustilanteesta kohti toimituskohdetta eikä myöskään toimituskohteeseen toimitetusta moduulista. Täysin automaattisessa moduulin toimituksessa tieto olisi oleellinen, koska silloin tiedetään, missä tietty moduuli on fyysisesti ja minne se on matkalla. Data on muodostettavissa, kun SAP:iin luotaisiin kaksi uutta työvaihetta. Ensimmäinen työvaihe pitäisi sisältää tiedon, että moduuli on koestuksen jälkeen siirretty koestamosta koestettujen moduulien noutopisteelle. Jälkimmäinen työvaihe sisältäisi tiedon, että moduuli on lähtenyt koestamon noutopisteeltä kohti toimituskohdetta pakkaamo, CD-moduulipuskuri tai MD-moduulipuskuri. Mobiilirobotti osaisi Omron Fleet Managerin kautta suorittaa SAP-työvaiheiden aloitukset ja lopetukset automaattisesti. Dataa toimitetusta moduulista voidaan hyödyntää myös muiden tuotantolinjojen tuotannonohjausjärjestelmissä, joka luo mobiilirobotille lisäarvoa entistään.

Moduulin saapuminen koestuksesta moduulien noutopisteelle tiettyyn jonoon on jonoja ja niiden täyttymistä sekä tyhjentyä seurattava reaaliajassa. Mobiilirobotin täytyy

tietää Fleet Managerin kautta jonojen tilanne ennen moduulien noutoa, onko jono tyhjä vai ei. Omron Fleet Manager voi luoda eri moduulijonojen välisen priorisoinnin, mutta tieto jonon täyttymisestä ja tyhjentyemisestä saadaan toteutettua edellä mainittujen uusien työvaiheiden kautta. Moduulin koestuksen jälkeen koestaja aloittaisi ensimmäisen työvaiheen, joka kertoo tiedon, että moduuli on siirretty koestamon noutopisteelle. Koestaja veisi seuraavaksi koestetun moduulin oikeaan moduulijonoon toimituskohteen perusteella. Työvaiheiden välistä automaatiota voidaan käyttää, kun SAP lukee moduulin toimituskohteen tietokannasta ja asettaa sen mukaan moduulin oikeaan moduulijonoon SAP:ssa. Moduulin todellinen sijainti ja data SAP:ssa olisivat silloin keskenään oikein.

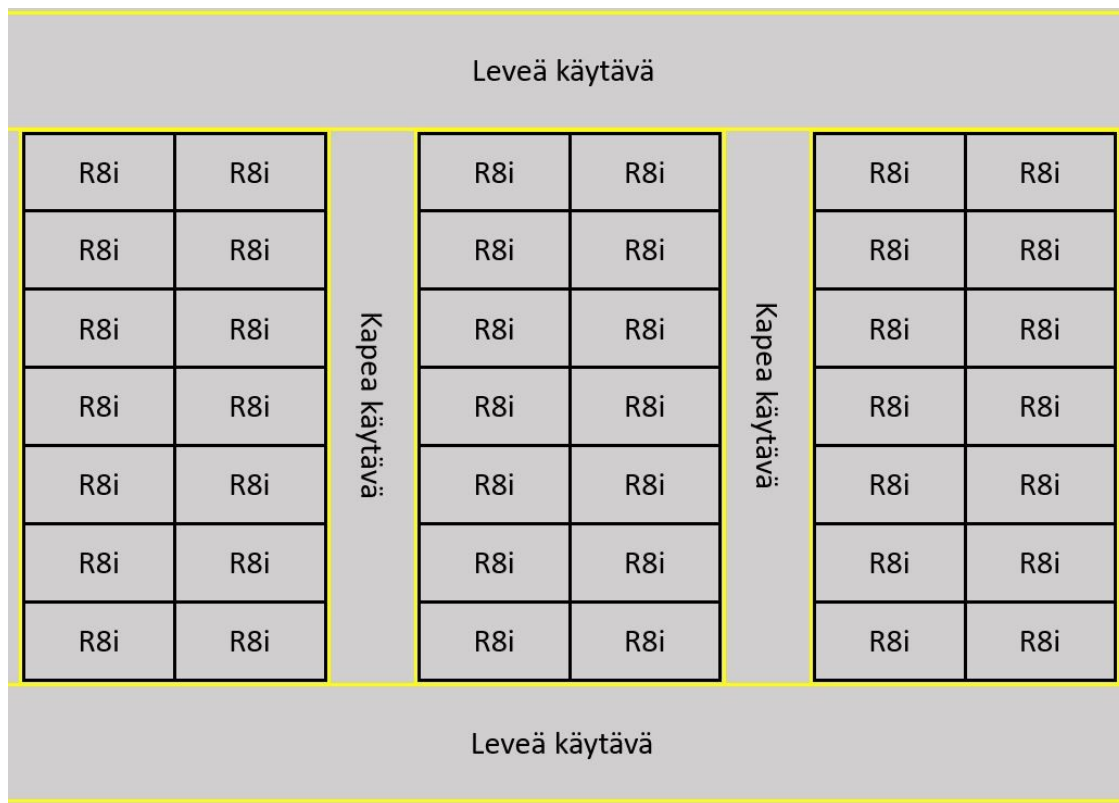
Mobiilirobotin noutaessa moduulia osaisi mobiilirobotti päättää ensimmäisen työvaiheen samalla, kun aloittaa toisen työvaiheen, joka kertoo moduulin ollessa kuljetusvaiheessa. Koestamon moduulijonojen täyttymis- ja tyhjentymistieto välittyy SAP:iin Omron Fleet Managerin kautta uusien työvaiheiden ansiosta ja tilanne moduulien määrästä moduulijonoissa vastaa todellisuutta. Kuljetusprosessin päätteeksi mobiilirobotti päättää toisen työvaiheen, joka kertoi tiedon, että moduuli on kuljetusvaiheessa. Toisen työvaiheen päättäminen indikoi, että moduuli on kuljetettu onnistuneesti.

System Modules -koestamon moduulien noutopisteellä moduulit ovat useassa jonossa, ja jonot ovat vierekkäin. Tämänhetkinen jaottelu toimituskohteen mukaan ja yleinen layout ovat valmiiksi hyvät. Ainoa muutos, joka tekisi moduulien noutamisen mobiilirobotilla varmemman, olisi lisätä 20 cm moduulijonojen väliin, jotta mobiilirobotti mahtuu noutamaan jonon viimeisenkin moduulin, kun viereiset jonot ovat täynnä. Moduulijonojen välien lisääminen vähentää tällöin moduulien määrää noutopisteellä, mutta muutos on välttämätön täysin automaattisessa kuljetusprosessissa.

Tällä hetkellä CD- ja MD-moduulipuskureissa moduulit ovat pystyasennossa kahdessa rivissä vastakkain (kuva 14). Moduulit saadaan noudettua nykyisistä moduulipuskureista kapean käytävän kautta. CD- ja MD-moduulipuskurit ovat saman tyyppiset, mutta MD-moduulipuskuri on pienempi, ja leveä käytävä on vain kuvasta 14 katsottuna alapuolella. Lisäksi MD-moduulipuskurissa on useampia eri taajuusmuuttajia fyysisiltä mitoiltaan, kun taas CD-moduulipuskurissa vain yhden kokoista.

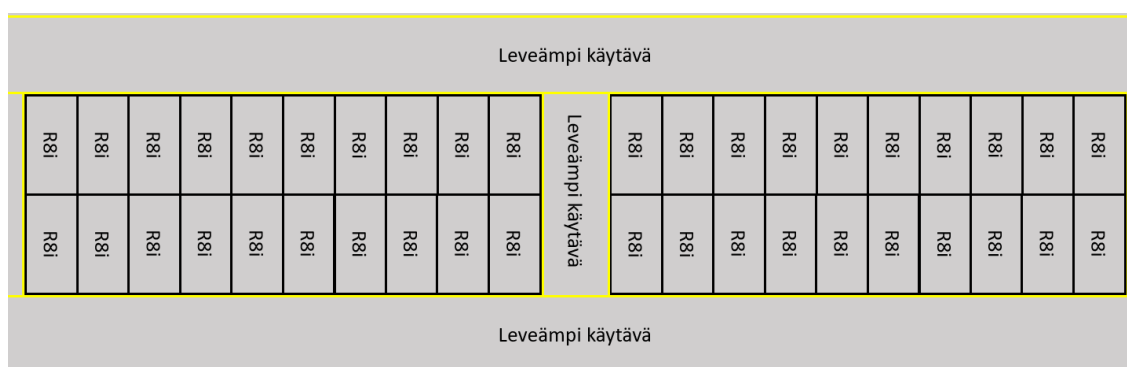
Omron LD-250-mobiilirobotti kuljetusratkaisuineen ei kuitenkaan mahdu fyysisten mittojensa takia toimittamaan nykyisiin moduulipuskureihin moduuleita. CD- ja MD-

moduulipuskurit vaativat muutostöitä, jotta Omron LD-250-mobiilirobotti voisi kuljettaa moduuleita täysin automaattisesti haluttuun moduulipuskuriin.



Kuva 14. CD- ja MD-moduulipuskureiden nykyinen layout.

Täysin automaattista moduulin toimitusta varten olisi moduulipuskureita muutettava kuvan 15 mukaiseksi. Kuvan 15 moduulipuskurissa mobiilirobotti toimittaisi moduulin leveämmän käytävän puolelta pysähtyen ensin vapaan moduulipuskuripaikan kohdalle. Mobiilirobotin pysähtymisen jälkeen mobiilirobotti peruuttaisi moduulin vapaalle moduulipuskuripaikalle, jonka jälkeen mobiilirobotti lähtisi noutamaan uutta moduulia System Modulesin koestamon moduulien noutopisteeltä.



Kuva 15. Ehdotettu muutos CD- ja MD-moduulipuskureille.

Jos täysin automaattinen moduulien kuljettaminen ja jättäminen moduulipuskureihin ei ole mahdollista, nykyiset moduulipuskurit voidaan säilyttää ennallaan kuvan 14 mukaisena. Kuljetusprosessi olisi tällöin puoliautomaattinen, jossa ihminen on asettelemassa moduulia mobiilirobotille. Mobiilirobotti voisi tällöin kuljettaa moduulin moduulipuskurin viereen ja tuotantolinjan osastojärjestelijä kuljettaisi moduulin muutaman metrin päähän vapaalle paikalle moduulipuskuriin.

7.3 Large Drives

Large Drives -tuotantoalueella valmistetaan useita eri taajuusmuuttajia. Yksi tarkastelu-kohteeksi valikoitunut taajuusmuuttaja on ACS880-14/34 R11 / QPU-C1-110x0-x, lyhyemmin CR11. Kyseinen taajuusmuuttaja on 1 741 mm korkea, 477 mm leveä, 512 mm syvä ja painaa 185 kg. Kyseinen taajuusmuuttaja valmistetaan aivan System Modules -tuotantoyksikön vieressä. Suuremman mobiilirobotin käyttöasteen takaamiseksi tutkitaan, voidaanko kyseistä taajuusmuuttajaa kuljettaa pakkaamoon samalla Omron LD-250-mobiilirobotilla, jota käytetään myös System Modulesin moduulien kuljetuksessa.

Turvallisimman kuljettamisen takaamiseksi mobiilirobotin täytyy ajaa asennuspöydän alle niin, että CR11-taajuusmuuttajan pisimmät kyljet ovat yhdensuuntaiset Omron LD-250-mobiilirobotin pisimpien kylkien kanssa. Nykyisiä asennuspöytiä täytyy muokata tai suunnitella täysin uudet niin, että mobiilirobotti voi ajaa asennuspöydän alle. Kiinnittyminen asennuspöytään on toteutettavissa erikseen suunniteltavan universaalien kiinnitystavan kautta, joka mahdollistaa yhden Omron LD-250-mobiilirobotin käyttämistä myös System Modulesin moduulien kuljetusratkaisuissa. CR11-taajuusmuuttaja ei siis tarvitse

itsessään erillistä kuljetusratkaisua, ainoastaan asennuspöytien muokkausta tai uudelleensuunnittelua. Kuvassa 16 on CR11-taajuusmuuttaja ja asennuspöytä.



Kuva 16. CR11-taajuusmuuttaja asennuspöydän päällä.

Ongelmana on kuitenkin, että mobiilirobotin täytyy osata muuttaa asetuksistaan itsenäisesti omia fyysisiä mittojaan. Mobiilirobotin fyysisissä mitoissa täytyy ottaa huomioon CR11-taajuusmuuttajan tuomat etu- ja peräilytykset. Uusilla fyysisillä mitoillaan Omron LD-250-mobiilirobotti voi navigoida yhtenä kokonaisuutena. Tämä on ehdotonta, koska käänöksissä tulisi muuten ongelmia vakiota suuremman kääntösäteen takia. Ilman fyysisten mittojen muuttamista voi tapahtua törmäystilanteita. Tällä hetkellä Omron LD-250-mobiilirobotti ei osaa muuttaa asetuksia itsenäisesti.

kun ohjelmointi sekä asetusten optimointi oli kunnolla tehtynä. Mobiilirobotin vuorovai-
kutua ihmisten ja koneiden kuten pinoamisvaunujen sekä materiaalijunien kanssa oli su-
juvaa. Ainuttakaan vahinkoa tai läheltä piti -tilannetta ei päässyt syntymään. Mobiiliro-
botti osasi usein uudelleen suunnitella ajoreittinsä, jos alkuperäiselle ajoreitille ilmaantui
yllättäen esteitä. Mobiilirobotti ei pysty suunnittelemaan reittiään uudelleen, jos este tulee
yllättäen liian lähelle mobiilirobottia. Tällöin mobiilirobotti jää paikalleen odottamaan es-
teen poistumista, koska mobiilirobotti ei osaa peruuttaa ajon aikana automaattisesti. Jos
mobiilirobotti joutuu odottamaan esteen poistumista liian kauan, menee se vikatilaa ja
vaatii ihmisen apua.

Omron LD-250-mobiilirobotin ja ihmisen välisiä moduulin kuljetusaikoja vertailtiin. Ver-
tailuissa huomattiin, että mobiilirobotti ei ole ihmistä nopeampi, jos ihminen ja mobiiliro-
botti kuljettaisivat moduulit samoja reittejä pitkin. Mitattujen mobiilirobotin kuljetusaikojen
ja nykyisten kuljetusreittien avulla mobiilirobotin käyttöasteeksi saatiin laskettua 30 %.
Käyttöaste on kohtuullinen, mutta lasketun käyttöasteen perusteella mobiilirobotti on
enemmän parkissa kuin ajamassa. Tulevaisuuden pakkaamoalueen ja System Modules
-koestamon layout-muutoksien takia käyttöaste tulee pienentymään nykyisestä 30 pro-
sentista. Mobiilirobotin ja kuljetusratkaisun takaisimaksuaika on myös kohtuullinen eli
säästöä syntyy silti vaikka mobiilirobotin ja ihmisen kuljetusajat ovat melkein yhtä nopeat.

Tehdasympäristön ihmiset olivat hyvin kiinnostuneita pilotoidusta mobiilirobotista. Kävin
usean ihmisen kanssa keskustelua, olisiko mobiilirobotin hyvä ja helposti vastaanotet-
tava uudistus. Keskusteluiden pohjalta voin todeta, että mobiilirobotit ja automaatio näh-
dään yleisesti positiivisena asiana.

Insinööri työ on kaikilta osa-alueilta onnistunut, ja kaikkiin tutkimuskysymyksiin saatiin
vastattua. Jatkokehittävää täysin automaattiselle kuljetusprosessille on paljon, mutta
kaikki tarpeellinen kehitystyö on tuotu esille tässä työssä. Työtä voidaan jo itsessään
käyttää mobiilirobotin implementointiin System Modulesin moduulien kuljetusprosessille.
Työtä voidaan käyttää tulevaisuudessa myös yleishyödyllisenä materiaalina mobiiliro-
bottiprojekteissa muillakin tuotantoalueilla kuin myös materiaalilogistiikassa.

Lähteet

- 1 ABB Suomessa. 2021. Verkkoaineisto. ABB Oy. <<https://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti/suomessa>>. Luettu 14.3.2021.
- 2 ABB Group Presentation. 2021. Yrityksen sisäinen materiaali. ABB Oy. 4.3.2021. Luettu 14.3.2021.
- 3 Mobile Robot (mobile robotics). 2020. Verkkoaineisto. IoT Agenda. 2020. <<https://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/mobile-robot-mobile-robotics>>. Luettu 2.2.2021.
- 4 Tzafestas, Spyros G. 2013. Introduction to Mobile Robot Control. Elsevier, 2013. Luettu 3.2.2021.
- 5 Fazlollahtabar, Hamed. 2015. Autonomous Guided Vehicles. Springer, 2015. Luettu 6.2.2021.
- 6 AGV vs. AMR – What’s the difference. 2020. Verkkoaineisto. MiR. 2020. <<https://www.mobile-industrial-robots.com/en/insights/get-started-with-amrs/agv-vs-amr-whats-the-difference/>>. Luettu 6.2.2021.
- 7 Omron LD Series Datasheet. 2021. Verkkoaineisto. Omron. <https://assets.omron.eu/downloads/datasheet/en/v15/i828_ld-series_mobile_robot_datasheet_en.pdf>. Luettu 16.2.2021.
- 8 Mobile robot. 2021. Verkkoaineisto. Wikipedia. <https://en.wikipedia.org/wiki/Mobile_robot#cite_note-8>. Luettu 28.2.2021.
- 9 William Grey Walter. 2018. Verkkoaineisto. Wikipedia. <https://en.wikipedia.org/wiki/William_Grey_Walter#Robots>. Luettu 28.2.2021.
- 10 Artificial Intelligence Drives Advances in Collaborative Mobile Robots. 2021. Verkkoaineisto. MiR. <<https://www.mobile-industrial-robots.com/pl/insights/human-amr-collaboration/artificial-intelligence-drives-advances-in-collaborative-mobile-robots/>>. Luettu 28.2.2021.
- 11 Mobile Robot Positioning: Sensors and Techniques. 1997. Verkkoaineisto. John Wiley & Sons. <https://deepblue.lib.umich.edu/bitstream/handle/2027.42/34938/2_ftp.pdf>. Luettu 7.2.2021.
- 12 Kurdiashov, Andrii. SLAM Techniques Application for Mobile Robot in Rough Terrain. 2020. Springer 2020. Luettu 7.2.2021.

- 13 Erot triangulation ja trilateration välillä. 2021. Verkkoaineisto. Projecthopespeaks. <<https://fi.projecthopespeaks.org/744614-differences-between-triangulation-and-trilateration-AIMNFF-article>>. Luettu 7.2.2021.
- 14 Chong, T.J, Tang, X.J, Leng, C.H, Yogeswaran, O.E, Chong, Y.Z. Sensor Technologies and Simultaneous Localization and Mapping (SLAM). 2015. Verkkoaineisto. Procedia Computer Science. <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050915038375>>. Luettu 8.2.2021.
- 15 What is SLAM. 2021. Verkkoaineisto. MathWorks. <<https://www.mathworks.com/discovery/slam.htm>>. Luettu 8.2.2021.
- 16 Omron HD-1500. 2021. Verkkoaineisto. Omron. <<https://industrial.omron.eu/en/products/hd-1500>>. Luettu 16.2.2021.
- 17 Autonomous Mobile Robot. 2021. Verkkoaineisto. Omron. <<https://industrial.omron.eu/en/products/autonomous-mobile-robot>>. Luettu 16.2.2021.
- 18 Omron LD Series Datasheet. 2021. Verkkoaineisto. Omron. <https://assets.omron.eu/downloads/datasheet/en/v15/i828_ld-series_mobile_robot_datasheet_en.pdf>. Luettu 16.2.2021.
- 19 Omron HD Series Datasheet. 2021. Verkkoaineisto. Omron. <https://assets.omron.eu/downloads/datasheet/en/v5/i855_hd-series_mobile_robot_datasheet_en.pdf>. Luettu 16.2.2021.
- 20 MiR History. 2020. Verkkoaineisto. MiR. <<https://www.mobile-industrial-robots.com/en/about-mir/mir-history/>>. Luettu 17.2.2021.
- 21 Go Robot Go. 2020. Verkkoaineisto. Nvidia. <<https://blogs.nvidia.com/blog/2020/03/25/mir-robots-ai/>>. Luettu 17.2.2021.
- 22 MiR Robots. 2020. Verkkoaineisto. MiR. <<https://www.mobile-industrial-robots.com/en/solutions/robots/>>. Luettu 17.2.2021.
- 23 MiRGo. 2020. Verkkoaineisto. MiR. <<https://www.mobile-industrial-robots.com/en/solutions/mirgo/>>. Luettu 20.2.2021.
- 24 MiR Hook 200. 2021. Verkkoaineisto. Konica Minolta. <<https://www.konica-minolta.com.au/products/robotics/mir-addon/mir-hook-200>>. Luettu 20.2.2021.
- 25 About Us. 2021. Verkkoaineisto. Robotize. <<https://robotize.com/about/>>. Luettu 20.2.2021.

- 26 Download material. 2021. Verkkoaineisto. Robotize. <<https://robotize.com/about/download-material/>>. Luettu 20.2.2021.
- 27 Our robots. 2021. Verkkoaineisto. Robotize. <<https://robotize.com/our-products/our-robots/>>. Luettu 20.2.2021.
- 28 Accesories. 2021. Verkkoaineisto. Robotize. <<https://robotize.com/our-products/accessories/>>. Luettu 21.2.2021.
- 29 Agilox Systems GmbH. 2021. Verkkoaineisto. Posiocraft. <<https://www.posiocraft.fi/tuotteet/igv-automaattitrukit/agilox/>>. Luettu 21.2.2021
- 30 Low Voltage AC Drives ABB Industrial Drives ACS880. 2021. Verkkoaineisto. ABB Oy. <<https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=3AUA0000115038&LanguageCode=en&DocumentPartId=1&Action=Launch>>. Luettu 3.3.2021.
- 31 AIV:n käyttäminen taajuusmuuttajan tuotantoprosessissa. 2020. Insinööriyö. Patrik Kajjansinkko. 2020. <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/347182/Kajjansinkko_Patrik.pdf?sequence=2&isAllowed=y>. Luettu 2.2.2021.
- 32 LD-250 Platform User's Manual. 2021. Verkkoaineisto. Omron. <https://assets.omron.eu/downloads/manual/da/v3/i642_ld-250_user_s_guide_users_manual_da.pdf>. Luettu 14.3.2021.
- 33 Omron Fleet Manager. 2021. Verkkoaineisto. Omron. <<https://industrial.omron.fi/fi/products/fleet-manager>>. Luettu 17.4.2021.