



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Patrik Kaijansinkko

AIV:n käyttäminen taajuusmuuttajan tuotantoprosessissa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikka

Insinöörityö

26.10.2020

Tekijä Otsikko	Patrik Kaijansinkko AIV:n käyttäminen taajuusmuuttajan tuotantoprosessissa
Sivumäärä Aika	40 sivua 26.10.2020
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Sähkö- ja automaatiotekniikka
Ammatillinen pääaine	Automaatiotekniikka
Ohjaajat	Production Development Engineer Sami Mustonen Lehtori Timo Tuominen
<p>Insinööriyön tarkoituksena oli selvittää mobiilirobotin soveltuvuutta taajuusmuuttajan tuotantoprosessiin ABB Oy Large Drives -tuotantoalueelle Helsingin Pitäjänmäkeen. Mobiilirobotilla tulitaisiin kuljettamaan taajuusmuuttajia tuotantovaiheista seuraavaan ja tällä tavoin sillä korvattaisiin nykyinen ihmisvoimin ja teollisuusroboteilla toimiva kuljetusprosessi.</p> <p>Työn alussa tutustutaan mobiilirobottihin, niiden teoriaan ja mobiilirobottitarjontaan. Työn osana oli pilotointi Large Drives -tuotantoalueella, jolla pyrittiin tutkimaan mobiilirobotin luomaa vuorovaikutusta kanssamyöntäjien kanssa, implementointia ja ajallista hyötyä. Työn lopussa on pilotoinnin tuottamat tulokset, kehitysideoita ja yhteenveto.</p> <p>Mobiilirobottipilotti onnistui. Mobiilirobotti on turvallinen ja yhteistyökykyinen tuotantoprosessissa. Tuotantoalueen tuotantolinjojen, testausjärjestelmän ja varustelu-/pakkausalueen operointialusta on harmonisoitava. Mobiilirobotin käyttäminen taajuusmuuttajien kuljetamisessa vaikuttaa tuotantoprosessin läpimenoaikaan.</p> <p>Työtä voidaan käyttää teknisenä tukimateriaalina tulevaisuuden mobiilirobottiprojekteissa kuormasta riippumatta.</p>	
Avainsanat	AIV, AMR, mobiilirobotti, taajuusmuuttajan tuotantoprosessi

Author Title	Patrik Kaijansinkko Using AIV in Drive Production Process
Number of Pages Date	40 pages 26 October 2020
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical and automation engineering
Professional Major	Automation engineering
Instructors	Sami Mustonen, Production Development Engineer Timo Tuominen, Senior Lecturer
<p>The purpose of this thesis project was to determine the suitability of a mobile robot for the drive production process in the ABB Ltd Large Drives production area in Pitäjänmäki, Helsinki. The mobile robot would be used to transport drives from one production stage to another, thus replacing the current human powered and industrial robot-based transport process.</p> <p>At the beginning of this thesis work there are theory of mobile robots and markets of mobile robots. Part of this thesis work was piloting in the Large Drives production area to explore the interaction created by the mobile robot with co-workers, implementation, and time benefits. At the end of this thesis, there are results, development ideas and a concerning the pilot.</p> <p>The mobile robot pilot was successful. The mobile robot is safe and cooperative in the production process. The operating platform of the production lines, the test system and the equipment / packaging area of the production area must be harmonized. Using a mobile robot to transport drives affects the turnaround time of the production process.</p> <p>This thesis can be used as technical support material for future mobile robot projects, regardless of load.</p>	
Keywords	AIV, AMR, mobile robot, drive production process

Sisällys

Lyhenteet ja avainsanat

1	Johdanto	1
2	Mobiilirobotti	4
2.1	Paikantaminen	5
2.1.1	Suhteellinen sijaintimittaus	5
2.1.2	Absoluuttinen sijaintimittaus	6
2.2	Turvalaitteet	6
2.3	SLAM	7
3	Mobiilirobottimarkkinat	8
3.1	Agilox	8
3.2	MIR	10
3.3	Omron	11
3.4	Mobiilirobottien vertailu	13
4	Mobiilirobotin valinta ja laitteisto	16
5	Tuotantolinjan nykytilanne	18
6	Reitin suunnittelu	22
7	Pilotti	24
7.1	Käyttöönotto	24
7.2	Kartoitus	24
7.3	Ohjelmointi	27
7.4	Pilotoinnin tulokset	29
7.4.1	Törmäystestit ja turvallisuus	30
7.4.2	Implementointi tuotantoalueelle	32
7.4.3	Ajallinen hyöty	35
8	Yhteenveto	36

Lyhenteet ja avainsanat

ABB	Asea Brown Boveri. Ruotsalais-sveitsiläinen teollisuuskonserni.
AGV	Automated Guided Vehicle. Mobiilirobottimalli.
AIV	Autonomous Intelligent Vehicle. Omron-valmistajan luoma nimi mobiiliroboteilleen.
AMR	Autonomous Mobile Robot. Yleisesti käytetty termi älykkäistä mobiiliroboteista.
ARCL	Advanced Robotics Command Language. Ohjelmointikieli.
CAPS	Cell Alignment Positioning System. Navigointimenetelmä Omron-mobiiliroboteissa.
ESD	Electrostatic discharge. Sähköstaattinen purkaus.
FBD	Function Block Diagram. Ohjelmointikieli.
FIFO	First In First Out. Varastonohjausperiaate.
GPS	Global Positioning System. Paikannusmenetelmä.
Hipot	High Potential Test. Suurjännitetestaus, jossa mitataan elektroniikkatuotteen sähköeritystä.
HAPS	High Accuracy Positioning System. Navigointimenetelmä Omron mobiiliroboteissa.
IGV	Intelligent Guided Vehicle. Agilox-valmistajan luoma nimi mobiiliroboteilleen.
MIR	Mobile Industrial Robot. Mobiilirobottivalmistaja.

OPF	One Piece Flow. Vaiheistettu tahtilinja.
SAP	Ohjelmistovalmistaja. Toiminnanohjausjärjestelmä.
SLAM	Simultaneous Localization And Mapping. Paikannus- ja navigointimenetelmä.

1 Johdanto

Insinöörityön tarkoituksena on selvittää mobiilirobotin implementointia ABB Oy Pitäjänmäen toimiyksikköön, Large Drives -tuotantoalueelle. Tuotantoalueella on tällä hetkellä käytössä ihmisvoimin ja teollisuusroboteilla toimiva taajuusmuuttajien kuljetusprosessi. Tälle kuljetusprosessille haetaan vaihtoehtoista ratkaisua, joka on autonominen älykäs ajoneuvo (engl. Autonomous Intelligent Vehicle, AIV), eli mobiilirobotti.

Insinöörityön osana on käytännön pilotti, jolla pyritään vastaamaan seuraaviin tutkimuskysymyksiin:

- Minkälaista vuorovaikutusta mobiilirobotti luo?
- Kuinka vaivattomasti mobiilirobotti voidaan implementoida nykyiseen tuotantoprosessiin?
- Kuinka paljon mobiilirobotti nopeuttaa kuljetusprosessia?

Aluksi insinöörityössä tutkitaan mobiilirobotia yleisesti. Tämän jälkeen vertaillaan eri valmistajien tarjontaa mobiiliroboteista, jonka pohjalta tehdään valinta mobiilirobotista pilotointia varten. Pilottivaiheessa esitellään aluksi kuljetusprosessin nykytila, tahtotila ja suunnitellaan reittiä. Tämän jälkeen alkaa neljä viikkoa kestävä käytännön pilotointi Large Drives -tuotantoalueella. Insinöörityön lopussa on yhteenveto ja pohdintaa, jossa käydään läpi insinöörityön tuottamia tuloksia.

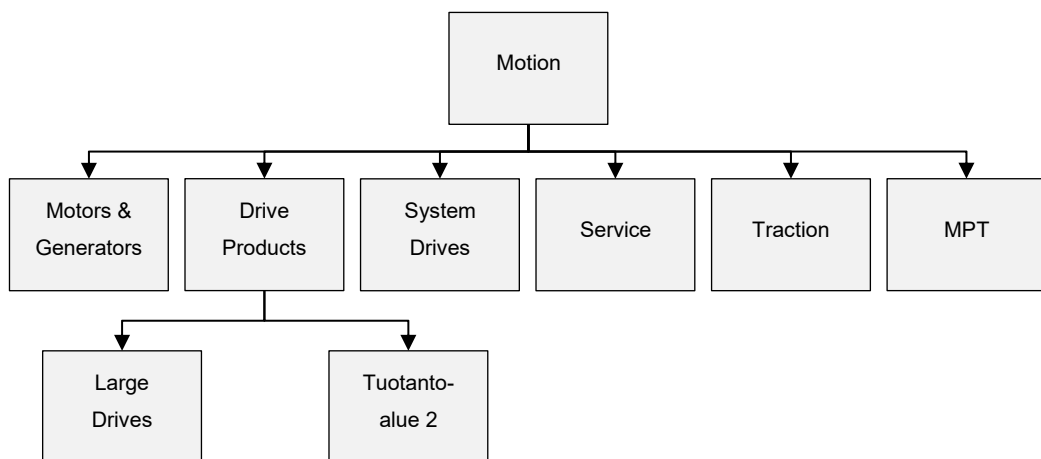
Työ on tehty toimeksiantona ABB Oy Pitäjänmäen toimipisteen Drive Products -divisioonan Operations Development -tiimille, joka vastaa Drive Products -divisioonan tuotannonkehityshankkeista. Insinöörityön tarkoitus on laatia selvitys mobiilirobotin käytöstä Large Drives -tuotantoalueella, jota voidaan käyttää apuna tulevaisuuden projekteissa.

ABB Oy (Asea Brown Boveri) on teollisuuskonserni, joka syntyi, kun ruotsalainen Allmänna Svenska Elektriska AB (ASEA) ja sveitsiläinen Brown, Boveri & Cie (BBC) yhdistyivät vuonna 1988. Maailmanlaajuisesti henkilöstä ABB:llä on noin 110 000 yli 100 maassa. Suomessa henkilöstöä on noin 5 400 ja toimintaa noin 20 paikkakunnalla, joista suurimmat keskittymät sijaitsevat Helsingissä, Vaasassa, Haminassa ja Porvoossa. Yritys on yksi suurimmista teollisuuden työnantajista Suomessa ja suurin pääkaupunkiseudulla. [1.]

ABB Oy on teknologian johtava edelläkävijä, joka tarjoaa pääosin ratkaisuja energiatehokkaamman tulevaisuuden rakentamiseen. Konsernilla on neljä liiketoiminta-aluetta:

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

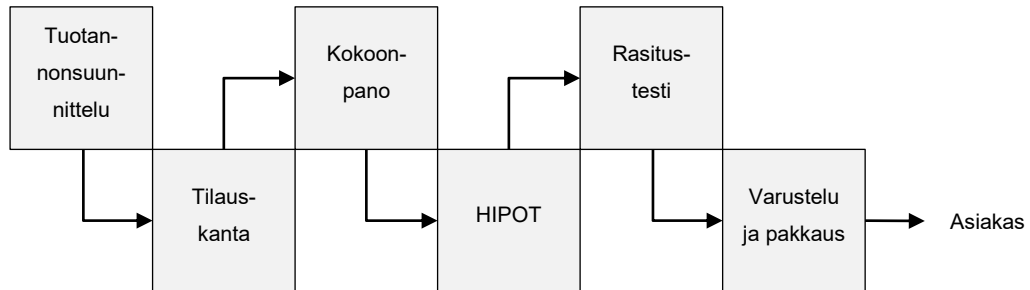
Motion-liiketoiminta-alueeseen (kuva 1) kuuluu seuraavat divisiioonat: Motors & Generators, Drive Products, System Drives, Service, Traction ja MPT. Drive Products -divisiiona Helsingin Pitäjänmäessä työllistää taajuusmuuttajien parissa noin 600 henkilöä, ja divisiiona jakautuu kahteen tuotantoalueeseen, joista toinen on Large Drives. [2.]



Kuva 1. Large Drives -tuotantoalue Motion-liiketoiminta-alueessa.

Large Drives -tuotantoalueella taajuusmuuttajien valmistusprosessi käynnistyy tilauskannasta, jonne tuotannosuunnittelutiimi on tilauksia ajoittanut. Tuotanto tapahtuu One Piece Flow (OPF) -tuotantolinjoilla, eli vaiheistetulla tahtilinjalla. OPF-tuotantolinjalla tarkoitetaan tuotantotapaa, jossa asia, tässä tapauksessa taajuusmuuttaja, valmistuu tuotantolinjalla liikkuen työvaiheesta seuraavalle luoden tasaisen virtauksen ja mahdollisimman vähän hukkaa, koska työvaiheet ovat ajallisesti tasaisia ja välivarastoja ei ole. Tuotantolinjalta taajuusmuuttaja siirtyy kaksiosaiseen testaukseen. Ensimmäinen osa on HI-POT-testaus. Hipotoinnilla tarkoitetaan High Potential -testiä, eli suurjännitetestiä, jossa mitataan elektroniikkatuotteen sähköeritystä [3]. Kun hipointi on läpäisty, siirtyy taajuusmuuttaja testauksen toiseen osaan, joka on rasiustesti. Testausaika vaihtelee

taajuusmuuttajan tyypin mukaan. Taajuusmuuttaja siirtyy loppuvarusteluun ja pakkaus-työpisteelle, kun testausprosessi on läpäisty. Valmistusprosessi on havainnollistettu kuvassa 2.



Kuva 2. Large Drives -tuotantoalueen valmistusprosessi.

Large Drivesilla valmistetaan neljän eri tuotetyypin taajuusmuuttajia, jotka on esitetty taulukossa 1. Tuotetyppi kertoo taajuusmuuttajan käyttötarkoituksen. -01 ja -11/31 tuotetyypit ovat seinälle asennettavia taajuusmuuttajia ja -04 ja -14/34 tuotetyypit ovat kaapikokoonpanoihin asennettavia taajuusmuuttajamoduuleita. Tuotetyypejä on eri kokoisina, joita kuvaa raamikoko. Raamikoko R6 on pienin ja R11 suurin.

Taulukko 1. Large Drives -tuotantoalueella valmistettavat taajuusmuuttajat.

Tuotetyppi	ACx880/SBU/ACx580/CBU -01	ACx880/SPU/ACx580/QPU -04	ACx880/QPU -11/31	ACx880/QPU -14/34
Raamikoko	R7, R8 ja R9	R10 ja R11	R6 ja R8	R11

Large Drives (lyh. LD) on jakautunut kahdeksi pienemmäksi tuotantoalueeksi, jotka kantavat lyhenteitä LD1 ja LD2. Suurin osa tuotannosta tapahtuu LD1-tuotantoalueella, jossa kasataan kaikki muut taajuusmuuttajat paitsi ACx880/QPU-11/34-R11-taajuusmuuttaja. Jokaisen raamioon taajuusmuuttajalle on oma tuotantolinja.

2 Mobiilirobotti

Mobiilirobotti on miehittämätön ajoneuvo, joka pystyy liikkumaan itsenäisesti ennalta määritellyssä tilassa saavuttaakseen halutun päämäärän. Mobiilirobottimalleja on erilaisia ja niiden nimitys perustuu pitkälti paikantamis- tai liikkumistapaan, kuten esimerkiksi AGV tai AIV. [4, s. 1.]

AGV (Automated Guided Vehicle) on mobiilirobotti, jonka navigointi perustuu rakennettuun infrastruktuuriin. Tällä tarkoitetaan fyysisiä opasteita tai ohjaimia, joiden avulla mobiilirobotti navigoi. Näitä ovat muun muassa laserpeilaus tai lattiassa olevan magneettiviivan seuranta. Laserpeilauksella tarkoitetaan sitä, että AGV mittaa aktiivisesti tilaan asennettuja peilejä ja niiden etäisyyksiä, jonka avulla robotin paikka saadaan selville. [5.]

AIV on mobiilirobotti, jonka navigointi perustuu ennalta määritellyn kartan hyödyntämiseen. AIV verrattuna AGV on paljon itsenäisempi laite, koska AIV ei seuraa mitään tiettyä lattiaan luotua viivaa tai reittiä. Toisin sanoen AIV ei tarvitse erillistä infrastruktuuria voidakseen navigoida. AIV osaa väistää esteitä ja suunnitella vaihtoehtoisia reittejä päästäkseen haluttuun päämäärään. AIV on elektroniikkavalmistajan Omronin luoma lyhenne mobiiliroboteilleen. Käsitteenä AIV on sama asia kuin AMR (Autonomous Mobile Robot), eli autonominen mobiilirobotti. Markkinoilla AMR on yleisempi käsite. [6.]

Yleisimmin mobiilirobotti käyttää pyöriä liikkumiseen, mutta mobiilirobotti voi liikkua myös ilmassa, veden alla tai jaloin. Mobiilirobotti tarvitsee myös aistimia, jotta se pystyisi liikkumaan ja paikantamaan itsenäisesti. Mobiilirobotit saavat virtansa akusta, ja useimmat mallit osaavat hakeutua tarvittaessa latausasemalle. Mobiilirobotteja voidaan käyttää logistiikassa teollisuusaloilla, kuten elintarvike-, auto- ja elektroniikkateollisuudessa.

Peter Hart Stanfordin tutkimuskeskuksesta aloitti Shakey-projektin vuonna 1965, ja ensimmäinen mobiilirobotti valmistui vuonna 1970. Shakey oli ensimmäinen mobiilirobotti, joka oli varustettu älyllä, kameralla, etäisyys- ja törmäysantureilla. [4, s. 3.]

2.1 Paikantaminen

Mobiilirobotti paikantaa itseään monella eri tavalla. Paikantaminen voidaan jakaa kahden ryhmään: suhteelliseen ja absoluuttiseen sijaintimittaukseen [7, s. 233].

Suhteellinen sijaintimittaus koostuu seuraavista kategorioista, joita ovat

- odometria
- inertiaalinen.

Absoluuttinen sijaintimittaus koostuu seuraavista kategorioista, joita ovat

- kompassi
- tutka
- global positioning system
- maamerkit
- malliin perustuva.

Molempia mittaustapoja voidaan käyttää samanaikaisesti samassa mobiilirobotissa, joka onkin ihanteellista, jotta navigointi tapahtuisi ongelmitta. Suhteellisella mittauksella tarkoitetaan mittaustapaa, jolla mitattua tietoa verrataan aikaisempaan sijaintiin, kun taas absoluuttisessa mittaustavassa dataa verrataan ennalta määriteltyyn karttaan tai koordinaatistoon. Yleisimmät navigointiin käytettävät menetelmät ovat odometria, tutkat, maamerkit ja malliin perustuva. [7, s. 233.]

2.1.1 Suhteellinen sijaintimittaus

Odometrialla (engl. odometry) tarkoitetaan mobiilirobotin pyörästä mitattavan tiedon hyödyntämistä robotin paikannuksessa. Pyörästä mitataan matka muuntamalla pyörän säteen pituus lineaariseksi matkaksi matemaattisella yhtälöllä. Tämä menetelmä on haa-voittuvainen, jos ympäristö on epätasainen tai liukas, jolloin voi syntyä mittausvirheitä, kun pyörä liikkuu, mutta mobiilirobotti ei fyysisesti liiku. [7, s. 233.]

Inertiaalisessa navigoinnissa (engl. inertial navigation, INS) käytetään laitteita, kuten gyroskooppia ja kiihtyvyyssanturia mittaamaan asentoa ja kiihtyvyyttä. Näitä tietoja verrataan ennalta määriteltyyn koordinaatistoon, josta ilmenee robotin paikkatieto. [7, s. 235.]

2.1.2 Absoluuttinen sijaintimittaus

Tutkia perinteisemmin käytetään lentokoneissa ja laivoissa, koska niiden korkea näytteenottotaajuus ja energiatehokkuus johtavat tarkkaan paikantamiseen. Tutkat pitää asentaa todella tarkasti, ja tutkat ovat hyvin kalliita, joten niiden käyttö mobiiliroboteissa ei ole kovin kannattavaa, koska on olemassa muitakin paikannusmenetelmiä. [7, s. 237.]

Kompassin toiminta perustuu maapallon magneettikenttien analysointiin. Toisin sanoen kompassille heikkous on muut ulkoiset magneettikentät, jotka voivat johtaa kompassin mittavirheisiin. Näitä ulkoisia magneettikenttiä voi aiheuttaa suurjännitelinjat tai suuret sähkömoottorit. Kompasseja on mekaanisia ja elektronisia. Elektroninen kompassi (engl. fluxgate compass) on yleisemmin mobiiliroboteissa käytetty kompassimalli, koska se ei häiriinny ulkoisista magneettikentistä ja on energiatehokas. [7, s.236.]

Global Positioning System (GPS) on satelliittipaikannukseen perustuva paikannusmenetelmä, jota voidaan käyttää ulkona ja sisätiloissa. Ainoana ongelmana on GPS:n tarkkuus. Varsinkin sisätiloissa GPS on hyvin epätarkka, koska esimerkiksi tehdasympäristössä voi syntyä paljon heijastumia, jotka johtavat epätarkkuuteen. [7, s. 239.]

Käsitteenä maamerkit tarkoittavat tässä asianyhteydessä fyysisten merkkien, kuten peilien analysointia etäisyysantureiden avulla, jonka perusteella mobiilirobotti navigoi. Näitä etäisyysantureita ovat muun muassa kamera, laser-, ultraääni- ja infrapuna-anturit. [7, s. 242.]

Malliin perustuvalla paikantamisella tarkoitetaan tekniikkaa, jossa mobiilirobotti mittaa jatkuvasti ympäristöään ja vertaa mittatietoja referenssikarttaan, joka on aikaisemmin luotu ja tallennettu mobiilirobotin muistiin [7, s. 244].

2.2 Turvalaitteet

Useimmat mobiilirobotit ovat yhteistyörobotteja. Tämä tarkoittaa sitä, että mobiilirobotti työskentelee yhteistyössä ihmisen kanssa, joten mobiilirobotin on oltava turvallinen käyttää. Minkäänlaista turva-aitaa mobiilirobotin kanssa ei tarvitse käyttää, kuten perinteisissä teollisuusroboteissa se on oletus. Turvalaitteet ovat useimmiten etäisyysantureita,

kuten laserskanneri tai infrapuna-anturi, jotka aktiivisesti mittaavat esteitä. Laserskannereita käytetään usein myös samanaikaisesti SLAM-prosessissa.

2.3 SLAM

Simultaneous Localization And Mapping (SLAM) on prosessi, jossa mobiilirobotti samanaikaisesti tekee arviota omasta sijainnistaan ja luo karttaa käyttäen apunaan etäisyysantureita [8, s. 1].

Karttaa tarvitaan pääasiassa kahteen asiaan. Ensimmäiseksi mobiilirobotti tarvitsee karttaa navigointiin. Mobiilirobotti käyttää karttaa apuna paikannusvirheen vähentämiseen. Esimerkiksi odometria-paikannus voi johtaa pitkällä aikavälillä paikannusvirheisiin, joten karttaa käytetään apuna oikean paikan määrittämiseen kalibroimalla sijaintitiedot. Mobiilirobotti voi kalibroida sijaintitietonsa käymällä jossain tunnetussa paikassa kartalla (engl. loop closure) ja jatkaa siitä matkaansa. Toiseksi karttaa voidaan käyttää reittien suunnitteluun ohjelmointivaiheessa, ja se antaa kätevän visuaalisen kokonaisuuden operaattoreille. [8, s. 2.]

SLAM-prosessin kehittyminen viimeisen 30 vuoden aikana on mahdollistanut mobiilirobottien yleistymisen ja yhä suurempien teollisuustason mobiilirobottisovelluksien rakentamisen [8, s. 1].

3 Mobiilirobottimarkkinat

Mobiilirobottien suosion kasvaminen luo mobiilirobottimarkkinoilla luonnollista kilpailua ja uusia mobiilirobottivalmistajia. Tunnetuimmat mobiilirobottivalmistajat ovat Agilox, MIR ja Omron.

3.1 Agilox

Agilox on saksinostimella varustettu haarukkatrukki (kuva 3), jota valmistaja kutsuu nimellä IGV (Intelligent Guided Vehicle). Varsinaisesti mobiilirobotti on luotu kuljettamaan kuormalavoja, jotka ovat kooltaan maksimissaan 1 600 x 1 200 mm. [9.]



Kuva 3. Agilox IGV [9].

Riippuen mallista Agilox kykenee kuljettamaan maksimissaan 1 000 kg kuormia ja nostamaan niitä maksimissaan 1 060 mm:n korkeuteen. Ajoaika robotilla on 12 tuntia ja kolmen minuutin pikalatauksella ajoaikaa saadaan tunnin verran. Omamassa robotille on 380 kg ja maksiminopeus on 1,4 m/s. Robotin fyysinen koko (L x W x H) on 1 510 x 800 x 1 870 mm. Robotilla on neljä pyörää, jotka kääntyvät 360 astetta, joten mobiilirobotti on erittäin ketterä liikkeissään. Mobiilirobotti siis pystyy kääntymään paikallaan ympäri. [9.]

Mobiilirobotille on saatavissa Agilox BCO -kuljetinmoduuli (kuva 4), joka mahdollistaa 2–8 kuljettimen käytön mobiilirobotin kanssa esimerkiksi laatikkojen kuljettamiseen. Kuljetinmoduuli kiinnittyy mobiilirobottiin kuormalavan tapaisesti. [9.]



Kuva 4. Agilox IGV BCO -kuljetinmoduuli [10].

3.2 MIR

MIR (Mobile Industrial Robot) on tanskalainen mobiilirobotteja valmistava yritys, joka on perustettu vuonna 2013. Nykyään MIR on yksi maailman johtavista mobiilirobottivalmistajista [11].



Kuva 5. MIR 500 -mobiilirobotti [12].

MIR tarjoaa AMR-malleja moneen eri tarpeeseen, myös ESD-turvallisia malleja (engl. Electrostatic discharge) soveltuen elektroniikkateollisuuteen. Malleja ovat MIR 100, 200, 500 ja 1 000. MIR 100 ja 200 on tarkoitettu kuljettamaan kevyitä kuormia, kuten laatikoita. Isommat mallit, kuten MIR 500 ja 1 000, on tarkoitettu kuljettamaan suurempia kuormia, kuten kuormalavoja. Mallin numero viittaa suoraan mobiilirobotin kantokykyyn. Taulukoon 2 on koottu MIR-mobiilirobottien perustiedot.

Taulukko 2. MIR mobiilirobottien perustiedot [13; 14; 12; 15].

	MIR 100	MIR 200	MIR 500	MIR 1 000
Kantokyky (kg)	100	200	500	1000
Omamassa (kg)	70	70	226	231
Nopeus (m/s)	1,5	1,1	2	1,2
Koko (L x W x H)	890 x 580 x 352 mm	890 x 580 x 352 mm	1350 x 909 x 320 mm	1350 x 920 x 320 mm
Kuorma-ala (W x L)	600 x 800 mm	600 x 800 mm	1249 x 789 mm	1300 x 900 mm
Ajoaika (h)	10	10	8	8
ESD-versio	Ei	Kyllä	Kyllä	Kyllä

MIR tarjoaa myös lisäosia robotteihinsa, kuten automaattilatureita, koukkua, jolla mobiilirobotti voi hinata kuormaa, ja kuormalavojen nostolaitteita. Kaikille malleille on saatavana laturitelakka, johon mobiilirobotti osaa hakeutua automaattisesti, kun latausta tarvitaan. Koukku on tarkoitettu MIR 100 ja 200 -malleille. Koukulla MIR 100 pystyy vetämään 300 kg, ja MIR 200 pystyy vetämään jopa 500 kg. Kuormalavojen nostolaitteet on tarkoitettu suuremmille MIR 500 ja 1 000 -malleille. [13; 14; 12; 15.]

Suuremmissa malleissa on myös ohjelmitava logiikkapiiri integroituna, joka tarjoaa 4 digitaalista sisään- ja ulostuloa. Tämä mahdollistaa erillisen järjestelmän rakentamisen mobiilirobotin päälle, esimerkiksi sähköisen kuljettimen integroinnin mobiilirobottiin. [12; 15.]

3.3 Omron

Omron on japanilainen elektroniikkavalmistaja, joka on perustettu vuonna 1933. Omron valmistaa mobiilirobottien lisäksi myös muun muassa logiikoita, antureita ja turvatuotteita. [16.] Omronilla on hyvin samantyylliset mobiilirobotit kuin MIR:illä.



Kuva 6. Omron LD-250 -mobiilirobotti [17].

AIV-malleja Omronilla on LD-60/-90 ja -250 ja HD-1500. Samalla tavalla kuin MIR:llä, myös Omronin mobiilirobottien mallin numero-osa viittaa mobiilirobotin maksimaaliseen kantokykyyn. Omronilla mobiilirobottitarjonta on jakautunut kolmeen kokoon: pieneen, keskisuureen ja suureen. Pienet mobiilirobotit, kuten LD-60 ja -90, soveltuvat hyvin elektroniikkateollisuuteen ESD-turvallisuutensa ansiosta. Keskisuuret mobiilirobotit, kuten LD-250, soveltuvat hyvin logistiikkaan, jossa esimerkiksi mobiilirobotti vie rullaradan päädyistä tavaraa toiselle rullaradalle. Suuret mobiilirobotit, kuten HD-1500 on tarkoitettu raskaisiin kuljetuksiin, jotka sopivat hyvin autoteollisuuden logistiikkaan kuljettamaan esimerkiksi auton runkoja. Taulukkoon 3 on koottu Omron-mobiilirobottien perustiedot.

Taulukko 3. Omron-mobiilirobottien perustiedot [18; 19].

	LD-60	LD-90	LD-250	HD-1500
Kantokyky (kg)	60	90	250	1500
Omamassa (kg)	62	62	148	585
Nopeus (m/s)	1,8	1,35	1,2	1,8
Koko (L x W x H)	699 x 500 x 383 mm	699 x 500 x 383 mm	963 x 718 x 383 mm	1 696 x 1 195 x 370 mm
Ajoaika (h)	15	15	13	9
ESD-versio	Kyllä	Kyllä	Tulossa markkinoille	Ei

Omron-mobiilirobottien päällä on jäykkärakenteinen alumiiniprofiilirunko, joka mahdollistaa erittäin monimutkaistenkin lisälaitteiden integroimisen mobiilirobottiin [18, s. 8; 19, s. 6]. Kaikissa malleissa on myös ohjelmoitava logiikkapiiri integroituna, joka tarjoaa 16 digitaalista sisään- ja ulostuloa ja 8 analogista sisääntuloa ja 4 ulostuloa [18, s. 5–6; 19, s. 4]. Kaikille malleille on saatavana laturitelakka, johon mobiilirobotti osaa hakeutua automaattisesti, kun latausta tarvitaan.

3.4 Mobiilirobottien vertailu

Pilotissa tarkoituksena on kartoittaa Large Drives -tuotantoalueen mahdollisia käyttökohteita mobiilirobotille. Käyttökohteeksi valittiin pilotoinnin ajaksi ACx880/QPU-11/31-R8-taajuusmuuttajan kuljettaminen. Käytetään asianyhteydessä tästä taajuusmuuttajasta lyhennettyä nimeä -11-R8. Taulukossa 4 on Large Drives -tuotantoalueen kaikki valmistettavat taajuusmuuttajat ja niiden perustiedot. Taulukko on jaettu kolmeen osaan, jotka ovat ACS880-11 ja -14, ACS880-01 ja ACS880-04.

Taulukko 4. Large Drives -tuotantoalueella valmistettavien taajuusmuuttajien perustiedot [20, s. 60; 21, s. 59].

ACS880-11 ja -14				
Raamikoko	Korkeus H (mm)	Leveys W (mm)	Syvyys D (mm)	Paino (kg)
R6	771	252	358	59
R8	965	300	430	100/115
R11	1741	713	512	365

ACS880-01				
Raamikoko	Korkeus (mm)	Leveys (mm)	Syvyys (mm)	Paino (kg)
R7	645	284	365	48
R8	724	300	386	61
R9	723	380	413	86

ACS880-04				
Raamikoko	Korkeus (mm)	Leveys (mm)	Syvyys (mm)	Paino (kg)
R10	1541	350	506	161
R11	1741	350	506	199

Kun otetaan huomioon -11-R8-taajuusmuuttajan maksimipaino, joka on 115 kg, olisivat Agilox, MIR ja Omron sopivia valintoja pilottia varten. Korkeus (H) tuottaa rajoituksia mobiilirobotin valinnassa. Taajuusmuuttajan kuljettamiseen Agiloxin kanssa tarvittaisiin BCO-kuljetinmoduuli, jonka sallittu maksimikuorma on vain 55 kg ja koko maksimissaan 400 mm leveä ja 600 mm pitkä (H). -11-R8 -taajuusmuuttajan mitat ylittävät kuljetinmoduulin mitat, joten Agilox on poissa vertailusta.

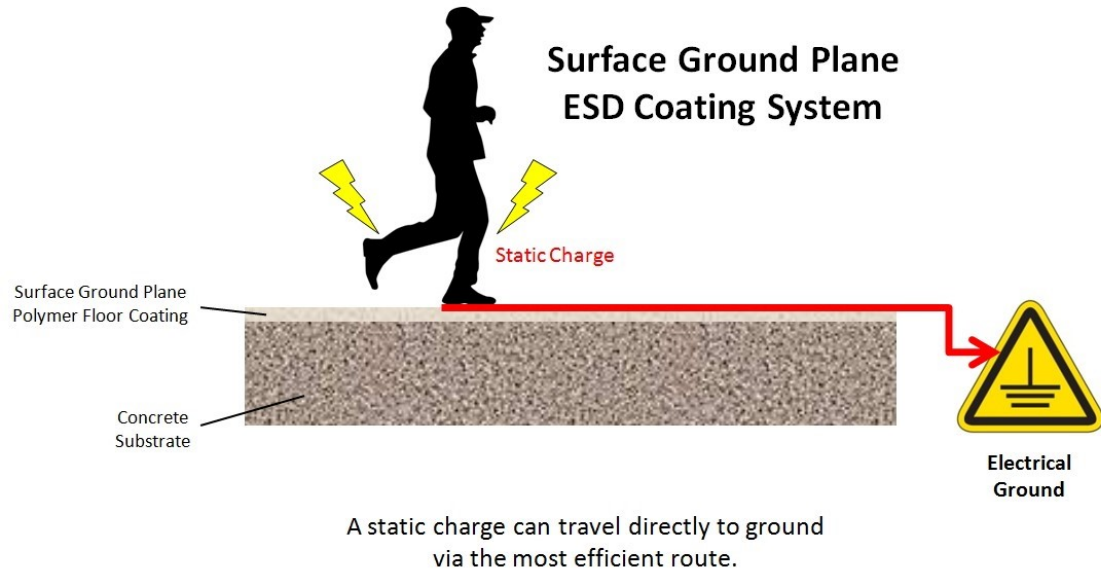
Omron- ja MIR-valmistajien mobiilirobotit ovat teknisten tietojen perusteella hyvin samanlaiset, joten vertailu niiden kesken on hankalaa. Jotta mobiilirobotti voi kuljettaa taajuusmuuttajia tuotantoprosessissa, pitää mobiilirobotin päälle rakentaa jonkinlainen rakennelma, esimerkiksi rullarata. Arvioin, että lisärakennelma tuo lisäpainoa maksimissaan noin 60 kg, joten kuljetusmassa taajuusmuuttajan kanssa olisi maksimissaan noin 175 kg. Hyviä mobiilirobotin vaihtoehtoja pilottia varten olisivat Omronin LD-250, MIR 200 tai MIR 500, koska niiden päällä on riittävästi pinta-alaa rakentaa lisärakennelma ja kuljetusmassat ovat tarpeeksi suuret -11-R8 -taajuusmuuttajan kuljettamiseen.

Mobiilirobotin ajoajan on oltava mahdollisimman pitkä, jotta välttyttäisiin työvuorojen aikana tapahtuvalta akun lataukselta. Omron LD-250:ssa on kolme tuntia pidempi ajoaika ja on 0,1 m/s nopeampi kuin MIR 200. MIR 500 on 0,8 m/s nopeampi kuin Omron LD-250, mutta ajoaika on viisi tuntia pienempi. En usko, että 0,8 m/s suurempi nopeus tuo merkittävää lisäarvoa tuotantoprosessissa, joten on mitattava ajoajan merkitystä. Ottaen nämä huomioon, on Omron LD-250 käyttötarkoitukseemme tehokkaampi vaihtoehto kuin MIR 200 tai 500.

Koska mobiilirobotille joudutaan rakentamaan lisärakennelma taajuusmuuttajan kuljettamiseen, pitää mobiilirobotissa olla ohjelmoitava logiikka. Omronin mobiiliroboteissa on paljon kattavampi logiikkapiiri kuin MIR:n mobiiliroboteissa, josta on hyötyä, jos lisärakennelma vaatii paljon älyä. Erityisesti Omronin analogiset sisään- ja ulostulot ovat iso plussa, jos mobiilirobotilla halutaan ohjata moottoroitua rullarataa.

ESD-turvallisuus on hyvin tärkeä ominaisuus elektroniikkateollisuudessa, jotta herkäät elektroniikkakomponentit säilyvät ehjänä, kun niitä käsitellään. Large Drives -tuotantoalueen lattia on sähköä johtavaa epoksiseosta, joten koko tuotantoalue on ESD-turvallinen työskennellä. ESD-ominaisuus on tuettuna kaikissa MIR:n valmistamissa mobiiliroboteissa paitsi pienimmässä mallissa MIR 100. Omron tukee tällä hetkellä ESD-

ominaisuutta vain pienimmissä LD-60/90 -malleissa. LD-250 ja HD-1500 eivät vielä virallisesti tue ESD-ominaisuutta, mutta LD-250:n ESD-versio on tulossa markkinoille. Jos mobiilirobotti ei tue ESD-ominaisuutta, voidaan mobiilirobotti maadoittaa lattian kanssa samaan potentiaaliin sähköä johtavan laahuksen avulla. Esimerkiksi kuparinen tai messinkinen ketju sopii tähän tehtävään mainiosti. Kuva 7 havainnollistaa ESD-lattian toimintaa.



Kuva 7. ESD-lattian toiminta [22].

4 Mobiilirobotin valinta ja laitteisto

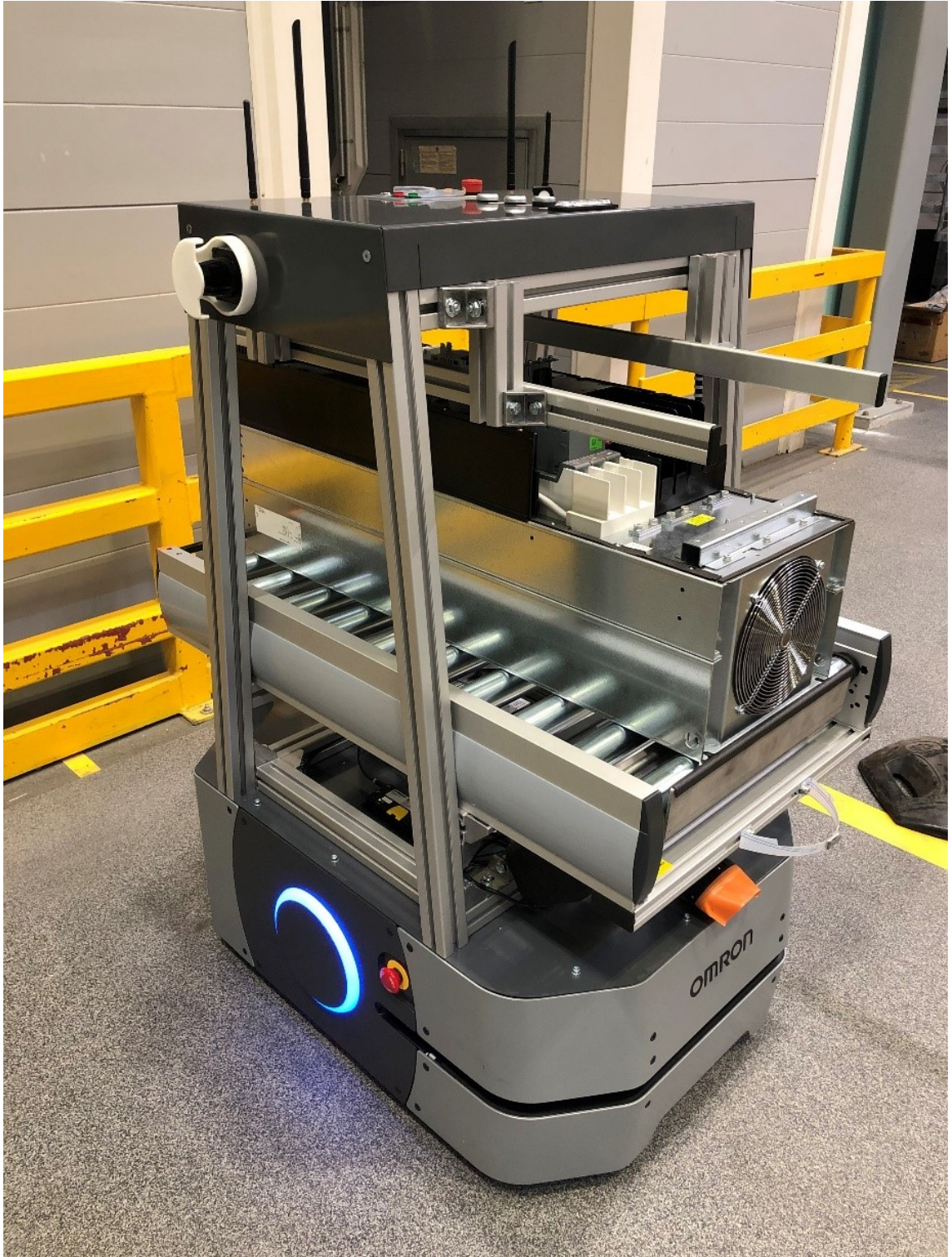
ABB Oy vuokrasi Omron LD-250 AIV:n toimittajalta neljäksi viikoksi pilotointia varten. Samalta toimittajalta pystyttiin myös tilaamaan taajuusmuuttajan kuljettamiseen tarvittava erillinen rakennelma ja aputasoja, jotka ovat rullaratoja. Aputasoja käytettiin tuotantoprosessin eri vaiheissa taajuusmuuttajan jättö- / ottopaikkoina. Mobiilirobottiin päädyttiin sen takia, että se täytti lähes kaikki kriteerit, joita olivat

- kantokyky tarpeeseen riittävä
- ajoaika mahdollisimman suuri
- kattava logiikkapiiri
- ESD-turvallinen.

ABB:n näkökulmasta toimittaja pystyi tarjoamaan avaimet käteen -ratkaisun, jossa kaikki oli valmiina käyttöä varten. Pilotoinnin aikana ei vielä ollut saatavilla ESD-versiota mobiilirobotista, mutta Omronin mukaan ESD-versio on tulossa.

LD-250-mobiilirobotin päälle rakennettu lisälaitteisto koostuu moottoroidusta rullaradasta, alumiiniprofiilirungosta ja käyttöpaneelistä, joka sijaitsee rakennelman katolla. Rullaradan kaikki toiminnot ovat operaattorikäyttöisiä ja niitä ohjataan käyttöpaneelistä. Jotta taajuusmuuttajan kuljettaminen rullaradalla olisi turvallista, on rullaradan molempiin päihin asennettu esteet, joista mobiilirobotin etupuolella oleva este on laskeutuva. Tämä este on ohjelmoitu mobiilirobotin logiikalle siten, että esteen on oltava yläasennossa, jotta mobiilirobotti saa liikkua. Rakennelmaan on myös asennettu sivuttaisiukuja varten esteet, jotka tukevat laitetta korkeimmasta kohdasta, joka ei näy kuvassa 8. Mobiilirobotin eteen ja rakennelman katolle on lisätty huomiovalot, jotta mobiilirobotti huomioitaisiin paremmin.

Mobiilirobotti toimitettiin kokonaisuutena ja turvatoiminnot, huomiovalot ja rullaradan toiminnot ohjelmoituna.

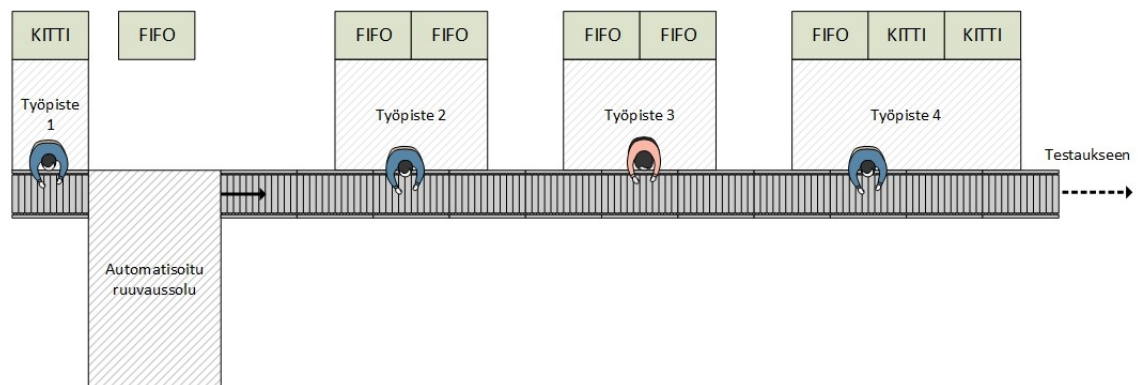


Kuva 8. Mobiilirobottikonaisuus ja kydyssä -11-R8-taajuusmuuttaja.

5 Tuotantolinjan nykytilanne

-11-R8 -taajuusmuuttajia valmistetaan tuotantolinjalla, joka koostuu neljästä työpisteestä (kuva 9), ja taajuusmuuttaja kasataan pituussuunnassa. Tuotantolinja on palkkirunkoinen ja kasaustyö tapahtuu rullaradalla, joka on koko tuotantolinjan pituinen. Rullarata takaa sujuvan siirtymän työpisteiden välillä.

Ensimmäisessä työpisteessä työskentelee ihminen ja teollisuusrobotti. Toistaiseksi ihminen alkukokoonpanee taajuusmuuttajan rungon ja muutaman elektroniikkakomponentin. Tämän jälkeen taajuusmuuttaja siirretään automatisoituun ruuvaussoluun, jossa teollisuusrobotti työskentelee. Teollisuusrobottiin on kiinnitetty älykäs ja hyvin tarkka ruuviväännin, jolle on ohjelmoitu tarvittavat ruuvausmomentit eri komponenttien asentamiseen. Kun teollisuusrobotti on valmis, siirtyy taajuusmuuttaja seuraavalle työpisteelle. Kolmessa seuraavassa työpisteessä työskentelee pelkästään ihminen. Kun taajuusmuuttaja on saatu valmiiksi viimeisestä työpisteestä, siirretään taajuusmuuttaja erilliselle rullapöydälle, jolla se kuljetetaan ihmisen voimin toiseen prosessivaiheeseen, joka on testausprosessi.



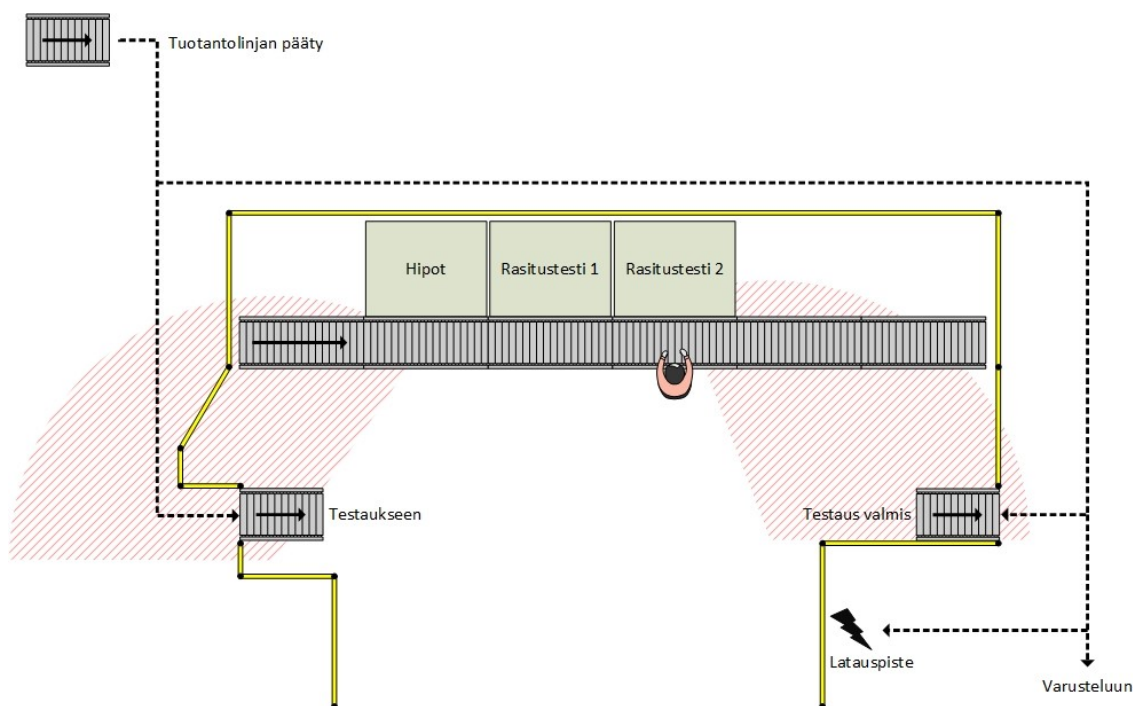
Kuva 9. Hahmotelma -11-R8-taajuusmuuttajan tuotantolinjasta.

Teollisuudessa automaatiolla pyritään perinteisesti parantamaan tuotannon läpimenoaikaa, kustannustehokkuutta ja laatua. Taajuusmuuttaja-kokoonpanolinjalla työskentelevän ihmisen tehtävä on työskennellä vain tuotantolinjalla ja kasata taajuusmuuttajia. Kaikki muu, kuten taajuusmuuttajien kuljetus prosessivaiheesta toiseen on hukkaa. Tuotantoa voidaan tehostaa hukan vähentämisellä ja tämän takia taajuusmuuttajien kuljetaminen prosessivaiheiden välillä halutaan tehdä automatisoidusti mobiilirobotilla.

Mobiilirobotin implementointi taajuusmuuttajien kuljettamiseen pitää suunnitella hyvin, ettei se tuota hukkaa nykyiseen prosessiin verrattuna. Taajuusmuuttajan kuljettaminen mobiilirobotilla alkaa siitä, kun mobiilirobotti odottaa tuotantolinjan viimeisen työpisteen rullaradan päässä, että se voi ottaa taajuusmuuttajan kyytiin. Kuorman saatuaan mobiilirobotti vie taajuusmuuttajan testausprosessiin.

Testausalue on aidoilla rajattu alue, jonka sisäpuolella työskentelee vain ihminen, joka valvoo testausprosessin tilaa. Sama henkilö huolehtii myös taajuusmuuttajat testaukseen. Pilotissa mobiilirobotti ei tule työskentelemään testausalueen sisäpuolella. Testausprosessiin tarvittavat aputasoja, jotka on tarkoitettu taajuusmuuttajan otto- / jättöpai-koiksi sijaitsevat aidoitettun alueen sisäpuolella, mutta kuitenkin niin, että ne ovat aidan kanssa samassa tasossa. Tällä tavoin aputasoa voidaan käyttää samaan aikaan testaus-alueen rajaajana ja mobiilirobotin apuvälineenä.

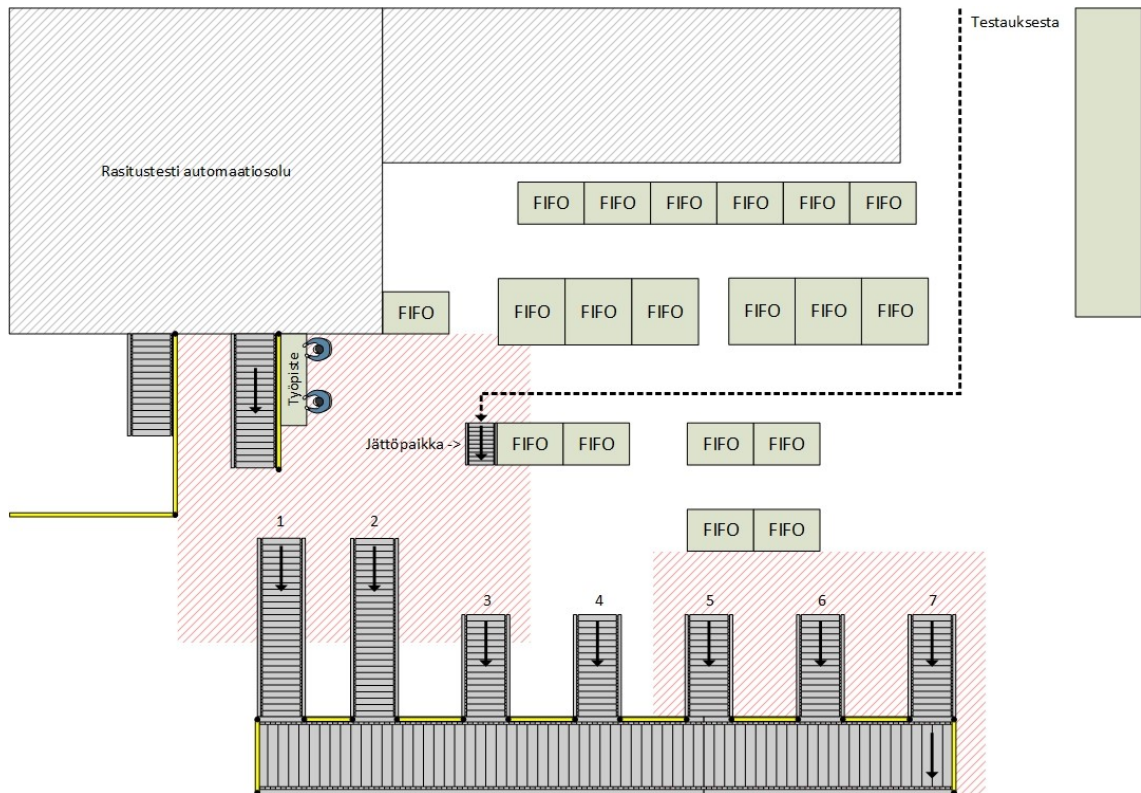
Kun mobiilirobotti on tuonut taajuusmuuttajan testausalueen aputasolle, nostetaan se siitä nostimella testauspaletille, joka on tavallaan adapteri taajuusmuuttajan ja testerin välille. Testausalueen työntekijä kaapeloii taajuusmuuttajan testauspaletille ja tämän jäl-keen taajuusmuuttaja voidaan testata. Testerit ovat sijoitettuna toisen rullaradan varrelle, jonka varrella on yksi hipot-testeri ja kaksi rasiustesteriä. Testausalueen työntekijä käyt-tää rullarataa hyväkseen, kun taajuusmuuttaja siirretään testausprosessin läpi, eli hipo-toinnista rasiustestiin. Kuvassa 10 on pohjapiirustus testausalueesta. Samassa kuvassa myös viitataan kuvan 9 tuotantolinjan päätyyn. Testausalueen nostimien nostoalueet on kuvattu punaisella viivoitetulla alueella.



Kuva 10. Hahmotelma -11-R8-taajuusmuuttajan testausalueesta.

Rasitustestauksen jälkeen taajuusmuuttajan testauskaapelit puretaan ja taajuusmuuttaja nostetaan nostimella testauspaletilta aputasolle, josta mobiilirobotti noutaa taajuusmuuttajan ja vie sen varustelu-/pakkausalueelle (kuva 11).

Varustelu-/pakkausalueen nostinlaitteet ovat epäoptimaalisesti sijoitettu pilotoinnin kannalta, joten taajuusmuuttajan jättöpaikka on paikoitettava priorisoiden nostinlaitteiden käytettävyyden mukaan. Varustelu-/pakkausalueen nostimien nostoalueet on kuvattu punaisella viivoitetulla alueella. Alueella on paljon FIFO-hyllyjä, jotka rajaavat myös hyvin paljon jättöpaikkaa. FIFO tarkoittaa First In First Out, eli hyllyn materiaaleja kulutetaan siinä järjestyksessä, kun se on sinne tuotu. Tällä tavalla materiaaleja ei jää seisomaan hyllyyn pitkäksi ajaksi. [23.] Nostoalueella on myös muutama työpiste, joten alue ei saa olla ahdas, muuten siitä tulee vaarallinen työntekijöille.



Kuva 11. Hahmotelma varustelu-/pakkaamoalueesta.

Mobiilirobotti tuo taajuusmuuttajan testausalueelta ja jättää sen määritellylle jättöpaikalle. Jättöpaikalta työntekijä nostaa nostimella taajuusmuuttajan rullaradalle numero 1 tai 2. Siitä taajuusmuuttaja siirretään rullaradalle 3, 4, 5, 6 tai 7, jossa taajuusmuuttaja varustellaan ja pakataan. Tämän jälkeen taajuusmuuttaja lähtee ulos tehtaasta asiakkaalle.

6 Reitin suunnittelu

Tehdastasolla reitin suunnittelu etukäteen mahdollisimman hyvin on suositeltavaa, jotta voidaan vähentää ongelmatilanteita, joita voi syntyä, kun pilotointi aloitetaan. Ongelmatilanteita mobiilirobotin reitissä voi esimerkiksi olla liian ahtaat käytävät, jolla mobiilirobotin olisi määrä liikkua. Myös reitin kuormitettavuuteen, eli ruuhkaisuus kannattaa ottaa huomioon reittiä suunniteltaessa. Reitin suunnittelussa käytettiin Lean-filosofiaan perustuvaa Gemba-työkalua. Gemba on japania ja tarkoittaa todellista paikkaa. Gemballa siis tarkoitetaan prosessikävelyä, jonka tarkoituksena on tarkastella prosessia paikan päällä. [24.] Tällä tavoin sai parhaan mahdollisen käytännön käsityksen reitin tarpeista ja ongelmakohtista.

Kun prosessikävely oli tehty, reitti suunniteltiin tietokoneavusteisesti piirtämällä tehdastason pohjapiirustus. Reitin piirtämisessä käytettiin Microsoft Visio -ohjelmistoa. Pohjapiirustukset (kuvat 9, 10 ja 11) ovat karkeita hahmotelmia eivätkä ole mittakaavassa. Pohjapiirustuksiin on hahmoteltu vain oleellinen osa ja mobiilirobotin reitit on kuvattu mustalla katkoviivalla.

Mobiilirobotti kulkee tehdastasolla yleisellä kulkuväylällä, jossa liikkuu samaan aikaan ihmiset ja muut koneet, kuten pinoamisvaunut. Reitti on siis hyvin vilkas, ja tämä on otettava huomioon, kun reittiä luodaan mobiilirobotille. Vilkkauden takia mobiilirobotille on tehtävä turvallisuustestit, kuten esimerkiksi törmäystestit, joissa tutkitaan, kykeneekö mobiilirobotti pysähtymään maksiminopeudella osumatta esteeseen. Mobiilirobotin latauspiste tullaan sijoittamaan suhteellisen keskeiselle paikalle mobiilirobotin reitin näkökulmasta. Latauspiste on myös hyvin erillään vilkkaalta käytävältä.

Myös varustelu-/pakkausalueelle tultaessa mobiilirobotti kulkee vilkkaalla käytävällä, jossa liikkuu samaan aikaan ihmisiä ja koneita. Kuvassa 11 ihan oikealla on vihreä suorakulmion muotoinen raskashylly, jossa on alueella tarvittavia materiaaleja. Hyllyä operoidaan pinoamisvaunulla. Alue on potentiaalisin mobiilirobotin vuorovaikutuksen tutkimiseen, koska alue on vilkas jo pelkästään ihmisten toimesta, mutta myös pinoamisvaunun takia.

Rullaratojen ja -tasojen lähestymiseen eli telakoitumiseen vaaditaan tarkkuutta, josta LD-250 mobiilirobotti ei suoriudu tarpeeksi hyvin ilman lisäominaisuuksia. Mobiilirobotille on

saatavissa lisäominaisuudet HAPS (High Accuracy Position System) ja CAPS (Cell Alignment Positioning System). Ilman lisäominaisuuksia mobiilirobotti kykenee ± 100 mm tarkkuuteen, mutta HAPS-järjestelmällä ± 10 mm ja CAPS-järjestelmällä parhaimmillaan ± 8 mm $\pm 1,0^\circ$ tarkkuuteen. [24, s. 169.]

HAPS-ominaisuus perustuu magnetismiin. Mobiilirobotin pohjaan asennetaan yksi tai kaksi magneettianturia. Kohteeseen, jota halutaan lähestyä paremmalla tarkkuudella, asennetaan lattiaan kohteen eteen magneettinauha, jota mobiilirobotti seuraa. Yhdellä magneettianturilla mobiilirobotti voi kulkea magneettinauhaa vain eteenpäin ja kahdella magneettianturilla eteenpäin ja taaksepäin. [25, s. 124.] Magneettinauhaa, jota mobiilirobotti seuraa, kutsutaan pääviivaksi (engl. main track), joka on pohjoisnapainen. Jos mobiilirobotin pitää pysähtyä pääviivalla jossain tietyssä kohtaa, pitää kohtaan tehdä magneettinauhasta merkki, joka on etelännapainen. Samalla pääviivalla voi olla useampi pysähdyspiste. Jotta HAPS-ominaisuus toimisi, on magneettiviivojen asentamisesta tehty tarkka ohjeistus. [25, s. 142.] HAPS-ominaisuus on lisäkustannus.

CAPS-ominaisuus perustuu laserskannaukseen, joka tapahtuu mobiilirobotin turvalaserskannerilla, joka sijaitsee mobiilirobotin keulassa keskellä [24, s. 158]. Jotta CAPS-ominaisuus toimisi, pitää sitä varten luoda L-muotoinen standardimaali, joka on määriteltä Omronin toimesta [24, s. 167]. Standardimaali asetetaan lähestyttävän kohteen läheisyyteen, jonka jälkeen lähestymisen koordinaatit annetaan suhteessa standardimaaliin. Ennen CAPS-lähestymisen alkamista mobiilirobotin pitää nähdä CAPS-maali kokonaan. CAPS-ominaisuus on joko maksullinen tai maksuton. Tämä riippuu tarkkuuden tarpeesta. Maksuttomalla CAPS-versiolla päästään tarkkuuteen ± 25 mm ja 2° kiertokulmalla ja maksullisella versiolla ± 8 mm ja 1° kiertokulmalla [24, s. 169].

7 Pilotti

7.1 Käyttöönotto

Mobiilirobotin käytöstä pidettiin noin kahdeksan tunnin pituinen perehdytys, joka piti sisällään käyttöönoton, perustason ohjelmoinnin ja turvallisuusasiat. Mobiilirobotin käyttöönotto oli hyvin yksinkertainen. Mobiilirobottiin kytkettiin akku, jonka jälkeen se käynnistettiin nappia painamalla. Mobiilirobotti käynnistyi noin kahdessa minuutissa, jonka jälkeen siihen pystyi yhdistämään tietokoneen. Mobiilirobotille oli luotu oma langaton verkko, joten kaapelikytkentää ei tarvittu, vaikka tämäkin olisi ollut mahdollinen tapa kytkeytyä mobiilirobottiin. Langaton verkko helpotti mobiilirobotin operointia.

Kun yhteys mobiilirobottiin oli saavutettu, avattiin Omronin mobiiliroboteille tarkoitettu ohjelmisto nimeltään MobilePlanner ja kirjauduttiin mobiilirobottiin. Ohjelmistoa tarvitaan, kun mobiilirobotille halutaan luoda kartta, editoida karttaa, konfiguroida mobiilirobotin asetuksia tai luoda tehtäviä. MobilePlannerilla voidaan myös monitoroida mobiilirobotin liikkeitä ja tehtävien tilaa. MobilePlanner ei ole lisenssipohjainen ohjelmisto, joten sen käyttäminen oli ilmaista.

7.2 Kartoitus

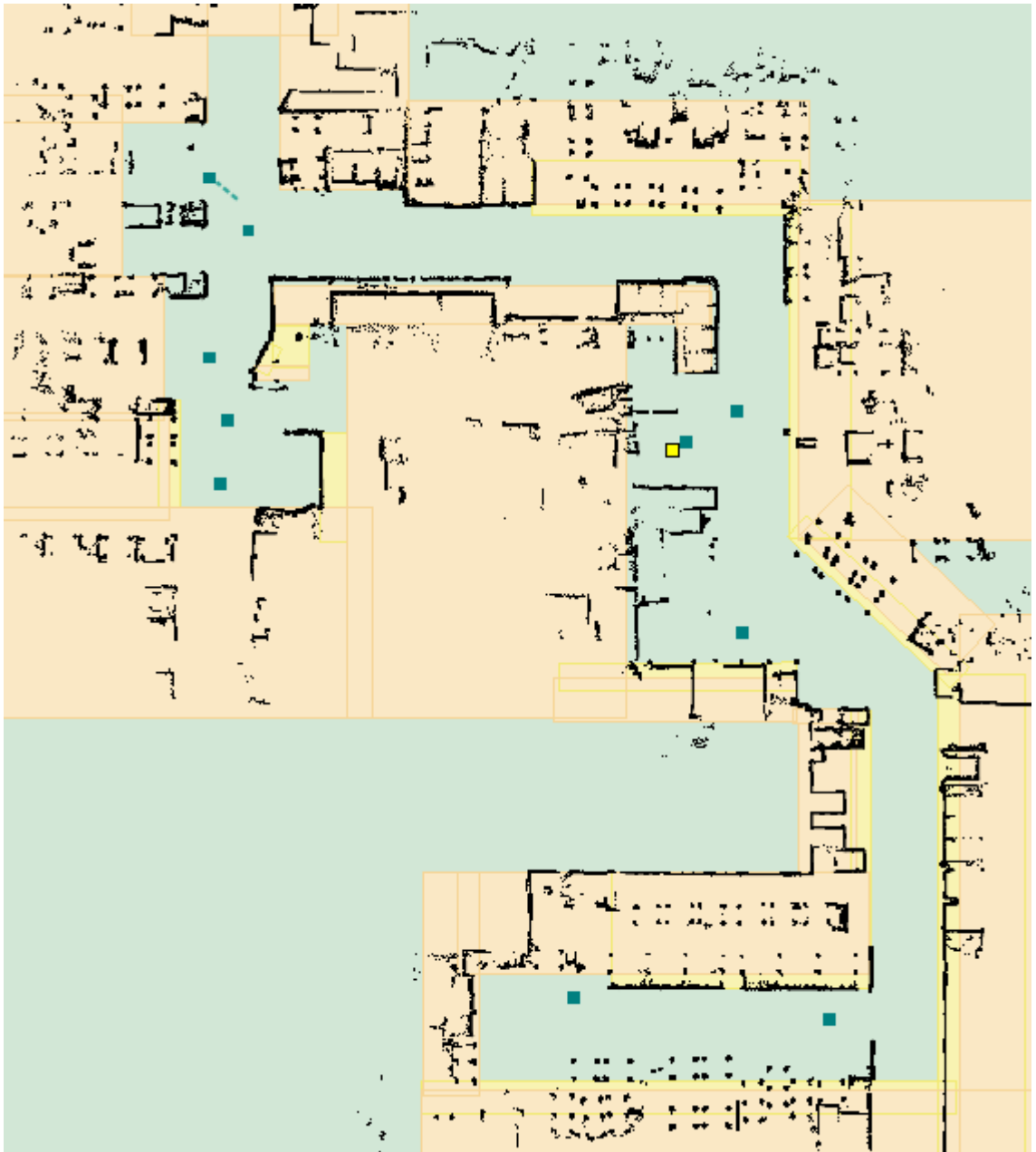
Kartan luomiseen kuluvan ajan määritti pitkälti tilan koko ja staattisuus. Tilan staattisuudella tarkoitetaan tilan kiinteiden kohteiden olemassaoloa ja niiden hyödyntämistä SLAM-prosessissa. Mobiilirobotin etupuolella oli kahdessa tasossa laserskannereita. Alatasossa, lähellä lattiaa oli laserskanneri, jota käytettiin pelkästään esteiden skannaamiseen. Noin mobiilirobotin keskitasossa oli turvalaserskanneri, jota käytettiin SLAM-prosessissa ja turvatoiminnoissa.

Kartan luominen mobiilirobotille oli helppoa ja vei noin 15 minuuttia. Aluksi mobiilirobotti asetettiin kartan luomistilaan, jonka jälkeen siihen kytkettiin langallinen käsiohjain. Mobiilirobottia ajatettiin tuotantoalueella edestakaisin muutaman kerran, jotta laserskanneri skannailisi mahdollisimman paljon kiintopisteitä. Turvalaserskanneri skannasi 190 mm korkeudella suoraa vaakatasoon, joka oli siinä mielessä huono asia, koska sen alla tai

yllä olevia kohteita ei tullut skannatuksi. Esimerkiksi matalia törmäyssuojia se ei skannanut.

Kun aluetta oli omasta mielestä tarpeeksi ajettu, kartta tuotiin tietokoneelle siistittäväksi ja muokattavaksi. Kartan siistiminen on tehtävä lähes poikkeuksetta, koska mobiilirobotti voi skannata ylimääräisiä pisteitä kartalle. Ylimääräisiksi pisteiksi luokitellaan oikeastaan kaikki kohteet, jotka eivät ole kiinteitä. Näitä olivat esimerkiksi ihmiset ja työtuolit. Pilotissa luotua karttaa ei perinpohjaisesti siistitty, koska se ei tuonut lisäarvoa.

Kartan siistimisen jälkeen karttaa voitiin muokata lisäämällä alueita, joilla on sääntöjä. Kuvassa 12 on valmis kartta. Kartta on tavallaan xy-koordinaatisto, jonka origo sijaitsee kartan luomisvaiheen alussa. Kartalla olevat mustat pisteet tai viivat ovat kiintopisteitä, joita mobiilirobotti oli skannannut kartan luomisen yhteydessä. Kartassa näkyvät oranssit, keltaiset ja vihreät alueet ovat säännöllisiä alueita. Oranssi alue on kielletty alue, eli sinne mobiilirobotilla ei ole mitään asiaa. Keltainen alue on välttä-alue, eli tätä aluetta mobiilirobotti saa käyttää, mutta välttää sen käyttämistä. Vihreä alue on nopeudella rajoitettu alue.



Kuva 12. Valmis kartta mobiilirobottia varten.

Pelkästään oranssilla alueella ei kannattanut aluetta rajata, koska mobiilirobotti saattoi jäädä alueen rajalle jumiin, jos se ajautui liian lähelle rajaa ja samaan aikaan mobiilirobotin täytyi kääntyä rajan tuntumassa. Jos näin tapahtui, meni mobiilirobotti vikatilaan, ja se piti manuaalisesti siirtää sallitulle alueelle. Tämän ongelman pystyi kiertämään keltaisella alueella. Jos mobiilirobotin maksiminopeutta rajoitettiin mobiilirobotin omista aseuksista, käynnisti se itsensä uudestaan. Vihreällä alueella voitiin välttää mobiilirobotin uudelleen käynnistyminen, kun haluttiin kokeilla sopivia nopeuksia eri tilanteisiin.

Mobiilirobotti pyrki ajamaan aina käytävien keskellä, jotta sen liikkuminen olisi turvallista myös muiden käyttäjien kannalta. Tämä saattaa olla ongelma alueilla, joissa on paljon muutakin liikennettä, kuten esimerkiksi pinoamisvaunut. Karttaan voitiin luoda mobiilirobotille ensisijaiset alueet, joissa se liikkui, joten vilkkaat alueet mobiilirobotin ja koneiden välillä olivat rajattavissa. Kuvassa 12 vasemmalla ylhäällä näkyy sininen katkoviiva. Tällä katkoviivalla mobiilirobotille määritettiin ensisijainen reitti, jota sen tuli kulkea. Katkoviivaa kannatti käyttää silloin, kun maalia haluttiin lähestyä tietystä suunnasta.

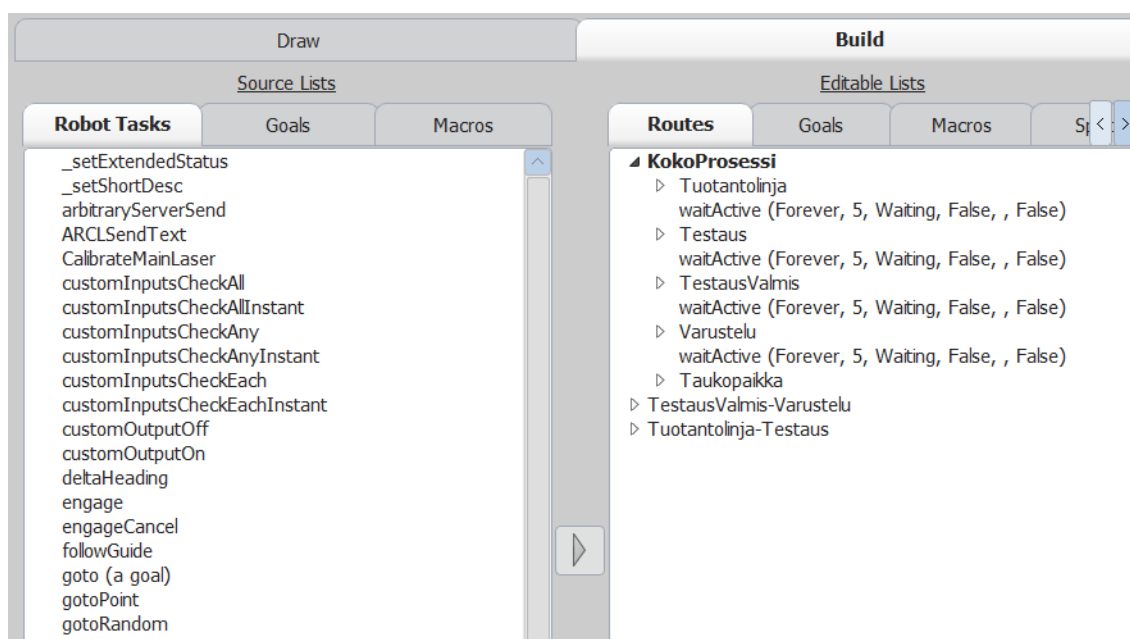
7.3 Ohjelmointi

Omronin mobiilirobottien ohjelmointi perustui ARCL-ohjelmointikieleen (Advanced Robotics Command Language), jota voitiin MobilePlanner-ohjelmistossa käyttää perustasolla tai syvemmillä tasolla. Perustason ohjelmointi muistutti jossain määrin ohjelmoitavien logiikoiden FBD-ohjelmointikieltä (Function Block Diagram), jossa toiminnot oli tehty kokonaisuuksiksi, joita yhdistelemällä päästiin haluttuun lopputulokseen. Syvemmillä tasolla ARCL-ohjelmointi oli ohjelmarivien kirjoittamista. Pilotin aikana ohjelmointi tapahtui perustasolla.

Mobiilirobotin luomaan karttaan piti kuitenkin tehdä ensin pisteitä, jonne mobiilirobotti haluttiin liikkua, jotta varsinainen ohjelmointi voitiin aloittaa. Pisteiden määrittäminen oli hyvä aloittaa latauspisteen määrittämisestä ja vasta sen jälkeen luoda muut pisteet. Kuvan 12 kartassa latausasema on keltainen neliö, ja muut pisteet ovat sinisiä neliöitä. Pisteiden luominen voitiin tehdä kahdella tavalla: tietokoneella tai käsiohjaimella.

Tietokoneella pisteiden luominen oli helpompaa kuin käsiohjaimella. Tietokoneella valittiin pisteen tyyppi, ja tämän jälkeen se sijoitettiin kartalle. Samalla, kun piste luotiin tietokoneella, piti pisteelle määrittää mobiilirobotin keulan suunta. Tätä indikoi pisteen päällä oleva viiva. Käsiohjaimella pisteiden luominen oli fyysisempää työtä, koska siinä mobiilirobotti ajettiin haluttuun paikkaan. Kun mobiilirobotti oli halutussa paikassa, painettiin käsiohjaimesta pisteen tallennuspainiketta. Tietokoneella pisteiden tekeminen oli paljon nopeampaa, mutta käsiohjaimella oli helpompi asettaa mobiilirobotti kerralla oikeaan paikkaan ja suuntaan.

Pisteistä yhdistelemällä voitiin luoda reittejä, jotka olivat varsinaisia ohjelmia. Reittien luominen tapahtui siten, että reitin alle siirrettiin pisteitä tai toimintoja. Reittien suoritusjärjestys toimii riveittäin, joista ylin suoritetaan ensimmäiseksi ja alin viimeiseksi. Kuvassa 13 on esimerkki koko kuljetusprosessin reitistä. Reitissä kolmioiden kohdalla olevat toiminnot ovat luotuja pisteitä, joiden ehtona on odottamiskäskey. Siinä ohjelma odotti, että mobiilirobotti kuitataan fyysisesti painikkeesta. Vasta tämän jälkeen mobiilirobotti siirtyi seuraavaan pisteeseen. Tällä tavalla kuorman lastaus ja purku oli turvallista toteuttaa, kun mobiilirobotti ei itsestään paennut paikalta.



Kuva 13. Ohjelmarakenne koko kuljetusprosessista.

Myöhemmin, kun reitit olivat valmiit, pystyi mobiilirobottia ohjaamaan tablet-tietokoneen avulla, jonka toimittaja oli pilotointia varten antanut. Tablettiin oli toimittajan toimesta luotu sovellus, joka ymmärsi ARCL-komentoja. Näitä komentoja hyödyntämällä sovellukseen luotiin painikkeita, joista voitiin komentaa mobiilirobotti kulkemaan esimerkiksi reitti tuotantolinjan ja testausprosessin välillä.

7.4 Pilotoinnin tulokset

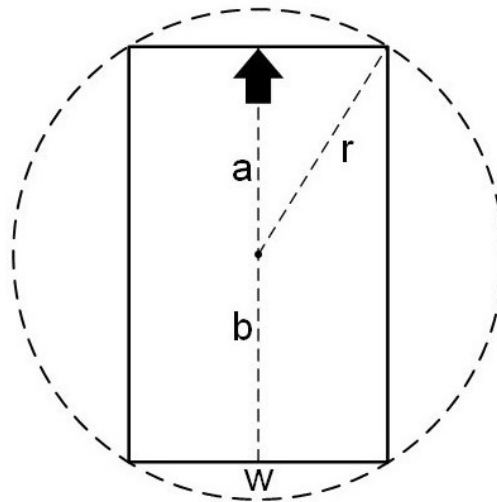
Pilotin tarkoituksena oli tutkia mobiilirobotin luomaa vuorovaikutusta, implementointia ja kuljetusprosessin nopeutumista. Pilotointi meni siinä mielessä hyvin, että se toi esiin haasteita ja niille löydettiin ratkaisut. Mobiilirobotti kykeni työskentelemään tuotantoalueella sujuvasti ja turvallisesti. Suorituskyky siirtymässä rullaradalta seuraavaan oli tehokasta ja tasaista.

Asia, joka loi eniten haastetta, oli HAPS-ominaisuuden käyttäminen. Tehtaan lattia on ESD-lattia, joka johtaa sähköä, ja käytäväkeskustelun [26] perusteella lattian betoniraudat sijaitsevat hyvin lähellä lattian pintaa. Betoniraudoissa kulkee maavirtaa, joka on mittaamalla todennettu synnyttävän magneettikenttiä [26]. HAPS-ominaisuus käyttää magnetismia navigoidessaan ja nämä olosuhteet yhdistettynä sen kanssa ei ollut ideaalinen HAPS-ominaisuudelle. Lattiasta koituva häiriö oli havaittavissa, kun mobiilirobotti kulki pääviivaa ja paljon ennen magneettimerkkiä, mobiilirobotti tunnisti jotain lattiasta magneettiantureillaan ja luuli paikkaa merkiksi pysähtyä. Lähestyminen piti tehdä todella hitaasti, että HAPS-ominaisuus saatiin toimimaan luotettavasti. Magneettimerkin etsimisessä käytettiin nopeutta 0,015 m/s ja pääviivan kulkemisessa nopeutta 0,15 m/s. HAPS-lähestyminen vaati pitkän pääviivan, joten ahtaisiin lähestymisiin sitä ei ollut luotu.

HAPS-ominaisuus kulutti paljon aikaa kuljetusprosessista, joten päädyttiin kokeilemaan CAPS-ominaisuutta, joka käytti navigoinnissaan laserskanneria ja standardimaalia. Muutaman minuutin parametrisoinnin jälkeen CAPS-ominaisuus oli toiminnassa. CAPS-maalin ei ole oltava Omronin luoma, vaan mobiilirobotille pystytään räätälöidä uusia standardimaaleja. Standardimaalia pienentämällä lähestyminen voidaan tehdä ahtaamassa tilassa. CAPS-lähestyminen oli tehtävissä luotettavasti maksimissaan 0,3 m/s nopeudella. CAPS-ominaisuuden pilotointi toteutettiin perusversiolla, jonka tarkkuus oli ± 25 mm ja kiertokulmalla 2° . Perusversio toimi riittävällä tarkkuudella tähän prosessiin. Maksullinen CAPS voi tuoda lisänopeutta CAPS-maalin etsimiseen.

Kohteita, joissa mobiilirobotti operoi käyttäen CAPSia oli neljä, eli kaikki otto- ja jättöpaikat. Tilantarve vaihteli hyvin avoimesta ahtaaseen. Ahtain paikka mobiilirobotille oli testaukseen menevien taajuusmuuttajien jättöpaikka. Kohteessa oli menosuuntaan vasemmalla puolella testausalueen verkkoaita, jota mobiilirobotti vierasti. Välillä mobiilirobotti

pysähteli telakoituessaan ja epäröi reittiään. Muut kohteet toimivat mobiilirobotille hyvin, ja lähestyminen oli tehokasta. Kohteista peruuttaminen oli mobiilirobotille vaivatonta. Mobiilirobotin tilantarpeen määrittää sille määritetyt fyysiset mitat. Kun mittoja asetetaan, mobiilirobotti tulee ajatella suorakulmion muotoisena, jonka keskipisteestä mitat annetaan. Jos mobiilirobotin päällä oleva lisärakennelma on suurempi kuin mobiilirobotti itse, niin mitat asetetaan lisärakennelman mukaan. Mobiilirobotille annettiin mitat keskeltä eteen (a), keskeltä taakse (b), suurin säde (r) ja leveys (w), jossa leveys oli koko mobiilirobotin tai lisärakennelman leveys. Mitat luovat mobiilirobotille tilantarveympyrän, joka määrittää pienimmän mahdollisen tilan, jossa se voi liikkua. Kuva 14 on hahmotelma mobiilirobotin mittaparametreista ja tilantarpeesta. Toimivan ja nopean operoinnin kannalta avoin alue oli paras. Mobiilirobotille voidaan kartassa määrittää alue, jossa se ei ota huomioon tilantarvetta. Tätä voidaan käyttää tilanteissa, joissa mobiilirobotti halutaan ajaa ahtaaseen tilaan esimerkiksi jonkin koneen sisälle.



Kuva 14. Mobiilirobotin tilantarvemitat.

7.4.1 Törmäystestit ja turvallisuus

Työpaikalla tärkeintä on se, että töistä pystyy lähtemään terveenä kotiin, joten mobiilirobotin turvallinen käyttö ihmisten ja koneiden seassa oli yksi kokeellinen osuus vuorovaihtuksen tutkimisessa. Turvallisuutta tutkittiin ensisijaisesti törmäysteistä, jonka kriteerinä oli vähintään, että mobiilirobotti kykenee pysähtymään jopa puolen metrin päästä maksiminopeudella 1,2 m/s osumatta esteeseen. Törmäysteistä luotiin taulukko

(taulukko 5), jossa esteisiin oli matkaa 0,5, 1, 2 ja 3 metriä ja jokaista etäisyyttä testattiin 25 %:n, 50 %:n, 75 %:n ja 100 %:n nopeudella, jotka vastasivat nopeuksia 0,3 m/s, 0,6 m/s, 0,9 m/s ja 1,2 m/s.

Taulukko 5. Törmäystestit.

Törmäystestit				
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	Pysähtyy ja kiertää.
	75		X	
	50		X	
	25		X	
0,5	100		X	Hätäjarrutus.
	75		X	Pysähtyy ja kiertää.
	50		X	
	25		X	

Törmäystestit suoritettiin suoralla käytävällä ja mobiilirobotin kyydissä oli -11-R8-taajuusmuuttaja. Käytävän lattiaan oli merkitty etäisyydet suhteessa törmäyskohtaan. Esteenä toimi operaattorin kädessä pitämä varsi, jonka päässä oli pala pahvia. Kun mobiilirobotti oli mitattavan etäisyyden kohdalla annetulla nopeudella, työnsi operaattori esteen mobiilirobotin eteen.

Törmäystestit onnistuivat oletetulla tavalla. Mobiilirobotti havaitsi esteen jo noin kolmen metrin päästä ja alkoi suunnittelemaan uutta kulkureittiä väistääkseen esteen. Mitä suuremmaksi mobiilirobotin tilannenopeus kasvoi ja törmäysetäisyys pieneni, sitä huonommin mobiilirobotin väistöliikkeet tapahtuvat sulavasti liikkeen aikana. Tämä huomattiin 0,5 ja 1 metrin törmäysetäisyyksillä, jossa mobiilirobotti joutui pysähtymään esteen eteen ja vasta sen jälkeen kiersi sen.

Tuloksista voidaan myös huomata, että mobiilirobotti käytti hätäjarrutusta vain, kun siihen oli todellinen tarve. Hätäjarrut saatiin laukeamaan vain maksinopeudessa törmäysetäisyyden ollessa puoli metriä. Vaikka jarrutus oli kova, niin mobiilirobottia ei saatu keikkaamaan. Törmäystestit suoritettiin myös ihmisellä, kun oltiin varmoja, että mobiilirobotti pysähtyi myös tiukimmalla kriteerillä. Tulokset olivat identtiset.

Yleistä mobiilirobotin turvallisuutta voitiin tutkia tarkkailemalla vuorovaikutusta ihmisten ja koneiden kanssa. Törmäykestien puitteissa mobiilirobottia voitiin ajaa maksiminopeudella, mutta se ei välttämättä luonut turvallisuuden tunnetta kanssatyöskentelijöihin. Mobiilirobotin ja koneiden välinen vuorovaikutus oli hankalaa, koska mobiilirobotti ei lähde peruuttamaan, vaan väistää aina liikkeessään reitillä eteenpäin. Olisi ihanteellista, jos mobiilirobotti työskentelisi mahdollisimman vähän koneiden kanssa samalla reitillä.

Mobiilirobotilla kokeiltiin ajaa reitti LD2 ja LD1 tuotantoalueiden välillä. Reitillä oli huomioitava ison kulkuväylän ylittäminen, jossa kulki paljon ihmisiä ja koneita samaan aikaan. Ennen kuin mobiilirobotti lähti ylittämään kulkuväylää, se odotti kulkuväylän edessä ajovalo päällä muutaman sekunnin. Tällä tavalla kanssakulkijat pystyivät huomioimaan mobiilirobotin paremmin ja ennakoimaan sen liikkeitä. Tuotantoalueiden välillä ajaminen ei tuottanut ongelmia. Lisäksi tutkittiin mobiilirobotin takaperin telakoitumista tuotantolinjalle. Takaperin telakoitumisen toistotarkkuus ei riittänyt luotettavaan ja turvalliseen toimintaan.

Mobiilirobottivalmistajien määrittämiä ja yleisiä turvallisuusstandardeja tulee noudattaa, kun mobiilirobottia käytetään.

7.4.2 Implementointi tuotantoalueelle

Pilotointi tehtiin valmistusprosessille, joka koostui kokonaisuudessaan rullaradasta ja muutamasta nostimesta. Mobiilirobotin implementointi prosessiin oli hyvin vaivatonta, koska taajuusmuuttajan käsittelyalustana oli koko ajan rullarata, jota mobiilirobotin oli helppo lähestyä. Muut tuotantolinjat käyttivät taajuusmuuttajien valmistusalustanaan nostopöytiä, jotka kulkivat taajuusmuuttajien alla työvaiheesta seuraavaan.

Tuotantoalueella valmistetaan myös suurempia taajuusmuuttajia kuin pilotoinnissa kuljetettu -11-R8. Tuotantoalueen taajuusmuuttajat voidaan jakaa karkeasti kahteen osaan: pieniin ja isoihin. Taulukko 6 havainnollistaa taajuusmuuttajien kokojaottelua.

Taulukko 6. Large Drives -tuotantoalueen taajuusmuuttajat jaettuna koon mukaan.

	Pienet		Isot	
Tuotetyyppi	ACx880/SBU/ACx580/CBU-01	ACx880/QPU-11/31	ACx880/SPU/ACx580/QPU-04	ACx880/QPU-11/34
Raamikoko	R7, R8 ja R9	R6 ja R8	R10 ja R11	R11

Pienien taajuusmuuttajien massat vaihtelevat 48–115 kg:n välillä ja isojen taajuusmuuttajien 161–365 kg:n välillä. Tämä on otettava huomioon mobiilirobottivalinnassa, jos suunnitellaan muiden taajuusmuuttajien kuljetusta. Pienille taajuusmuuttajille sopii Omron LD-250-mobiilirobotti ja isoille taajuusmuuttajille Omron HD-1500. Taajuusmuuttajien kuljetukseen vaadittava lisärakennelma kannattaa harmonisoida kokojakaumille. Tällä tavoin taajuusmuuttajat voidaan kuljettaa riippumatta raamikoosta.

Suurempaa mobiilirobottimallia HD-1500 voitaisiin hyödyntää kuormalavoilla olevien materiaalien kuljetukseen. Pilotoinnin aikana kuormalavoja vaihdettiin pinoamisvaunuilla, mikä ei ollut turvallisin mahdollinen ratkaisu varsinkaan silloin, kun niillä jouduttiin ope-roimaan ahtaassa tilassa. Kuormalavoille pitäisi rakentaa kehikko, jonka alle mobiilirobotti mahtuisi, jotta kuormalavojen kuljetus mobiilirobotilla olisi mahdollista. Mobiilirobotille pitäisi rakentaa nostinlisäosa kuormalavojen käsittelyä varten. Agilox IGV sopisi kuormalavojen kuljettamiseen paremmin, koska se on tehty siihen.

Omron Fleet Manager EM2100 on räkkitelineeseen asennettava mobiilirobottien hallintalaitteisto. Fleet Manager mahdollistaa mobiilirobottien värväämisen työtehtäviin, jopa sadan mobiilirobotin monitoroinnin samalla kartalla, liikenteenhallinnan ja integroinnin toiminnanohjausjärjestelmiin, kuten esimerkiksi SAP. Fleet Managerissa mobiilirobotit tietävät toistensa paikkatiedot, joten mobiilirobottien taloudellisempi ajaminen on mahdollista, kun ne osaavat suunnitella reittinsä paremmin. SAP:sta voidaan antaa taajuusmuuttajan valmistuttua heräte Fleet Managerille, jonka jälkeen siitä syntyy merkintä tehtävälisälle, josta se annetaan automaattisesti tehtäväksi lähimmälle vapaalle mobiilirobotille. [27.]

Muillakin valmistajilla on Flee Managerin kaltainen hallintajärjestelmä, joten Omron ei siinä mielessä ole edelläkävijä tässä asiassa. Esimerkiksi MIR:ltä löytyy Fleet Manager, joka on selainpohjainen. Pilotointi tehtiin Omronin mobiilirobotilla, mutta uskon, että MIR pystyy varmasti tarjoamaan yhtä luotettavan järjestelmän, vaikka sitä ei pilotoitukaan. Mobiilirobottivalmistajan on hyvä olla harmonisoitu, jos se vain on mahdollista. Tällä tavalla järjestelmä pysyy mahdollisimman yksinkertaisena.

Muiden taajuusmuuttajien testausjärjestelmät olivat erilaisia kuin pilotissa käytetty. ACx880/SBU/ACx580/CBU-01 ja ACx880/SPU/ACx580/QPU-04 -taajuusmuuttajat käyttivät testausjärjestelmää, joka koostui kolmesta robottisolusta ja kiertävästä testauspalettijärjestelmästä. Kaksi ensimmäistä robottisolua ovat tarvittaessa puskuripaikkoja, jos kolmanteen robottisoluun eli rasiustestiin on syntynyt testausjonoa. -01-taajuusmuuttajille hipot-testaus sijaitsee robottisolussa 2. -04-taajuusmuuttajat eivät kulje robottisolun 1 ja 2 kautta, vaan menevät suoraan hipot-testaukseen ja siitä rasiustestiin robottisoluun 3. ACx880/QPU-11/31-R6 testaus tapahtui siten, että taajuusmuuttaja vietiin suoraan testerin eteen nostonpöydän ja testauspaletin päällä ja taajuusmuuttaja liu'utettiin pöydältä testauspaletin kanssa testerin sisälle. ACx880/QPU-14/34-taajuusmuuttaja testattiin nostopöydän päällä suljetussa testauskammiossa. Tuotantoalueella oli siis monta eri tapaa testata taajuusmuuttajia.

Työnteko olisi sujuvampaa ja turvallisempaa, kun se olisi nostinvapaata. Jos mobiilirobotti haluttaisiin ottaa koko tuotantoalueelle käyttöön, tulisi valmistusprosessin operointialusta harmonisoida. Rullarata olisi harmonisointiratkaisuna hyvä valinta, koska sen toimintavarmuus oli hyvä ja sen avulla taajuusmuuttajat kyettiin siirtämään prosessista toiseen sujuvasti ilman nostoja.

Nykyisessä testausjärjestelmässä joudutaan aina kaapeloimaan taajuusmuuttajat testiä varten tavalla tai toisella. Esimerkiksi, jos kaapelointi tapahtuisi tuotantolinjalla, eli taajuusmuuttajan kokoonpano tapahtuisi testauspaletin päällä, siirtyisi nostopöytien merkitys niihin ja niitä joutuisi mahdollisesti odottamaan, jotta kokoonpano voitaisiin aloittaa. Jotta kuljetusprosessi olisi oikeasti täysin automatisoitu ja nostovapaa, pitäisi testerin kaapeloida taajuusmuuttajat automatisoidusti. Sillä tavalla, että pelkkä taajuusmuuttaja voitaisiin työntää testiin ilman mitään lisäosia. Taajuusmuuttajan lastaaminen ja purku rullaradan, testerin ja mobiilirobotin välillä olisi toteutettavissa moottoridulla rullaradalla, joten kuljetusprosessi olisi mahdollista rakentaa täysin automatisoiduksi.

7.4.3 Ajallinen hyöty

Mobiilirobotille ja ihmiselle toteutettiin tahtiaikamittauksia, joista keskiarvojen perusteella johtopäätökset on tehty. Tahtiajat on tarkoitettu vain työn tilaajalle. Tahtiaikojen mittauksen lähtökohtana ei ollut niiden tarkkuus, vaan enemmänkin tarkoituksena on suuntaa antavasti osoittaa, onko mobiilirobotti nopeampi kuin ihminen.

Mobiilirobotin tahtiajoissa ensimmäisenä vertailtiin HAPS- ja CAPS-ominaisuuksien ajallisia eroja. Lattian luomat häiriöt johtivat siihen, että CAPS-ominaisuus oli jopa kolme kertaa nopeampi tapa lähestyä rullaratoja kuin HAPS-ominaisuudella. Toisena tutkimuskohteena oli mobiilirobotin toiston tarkkuus ajallisesti. Mobiilirobotin siirtymät rullaradalta seuraavalle ilman lähestymistä oli toteutettavissa noin yhden sekunnin hajonnalla. Siirtymien mittauksissa ei otettu huomioon siirtymiä, joiden aikana ulkoiset tekijät, kuten esteet vaikuttivat tuloksiin.

Mobiilirobotin tarkka operointi rullaratoja lähestyessä oli se aika, jonka ihminen pöytiä työntäessään voitti. Mobiilirobotti oli siis hitaampi vaihtoehto kuin ihminen. Ottaen huomioon sen, että ihminen joutuu kävelemään tuotantolinjalle takaisin, jotta taajuusmuuttajan kokoonpano voi jatkua tai alkaa, ovat mobiilirobotti ja ihminen yhtä nopeita. Mobiilirobotin palaaminen tuotantolinjalle taajuusmuuttajan kokoonpanon tahtiaikojen puitteissa ei johda tuotantokatkoihin. Nostopöytien korvaaminen rullaradoilla johtaa siihen, että kokoonpanotyö voidaan aloittaa saman tien, kun taajuusmuuttaja siirtyy seuraavaan vaiheeseen. Nostopöytiä ei siis tarvitse hakea mistään, jotta kokoonpano voitaisiin aloittaa. Nämä seikat huomioon ottaen taajuusmuuttajan kuljettamiseen kuluva aika voidaan käyttää tuotantoon, jolla taas tuotantolinjan läpimenoaika pienenee.

Mobiilirobotin hyötyä ei tule mitata vain ajan avulla. Taajuusmuuttajien kuljettaminen nostopöytien avulla on ergonomisesti huono ratkaisu, koska niiden käyttö on raskasta ja kankeata. Työergonomia paranee, kun nostopöydät korvataan rullaradalla ja kuljettaminen prosessivaiheiden välille jätetään mobiilirobotille.

8 Yhteenveto

Insinööriyön aiheena oli tutkia taajuusmuuttajien kuljettamista mobiilirobotilla. Tutkimuskohteina olivat kuljettamisen lisäksi mobiilirobotin vuorovaikutus, implementointi ja ajallinen hyöty. Tutkimuksen oleellisena osana oli myös mobiilirobotin pilotointi tuotantoalueella. Lisäksi insinööriyössä tehtiin alustavaa selvitystä mobiilirobottien käytöstä materiaalogistiikassa.

Mobiilirobotin pilotointi Large Drives -tuotantoalueella onnistui ja antoi odotettuja tuloksia, mutta osa tuloksista tuli täysin yllätyksenä. Mobiilirobotin käyttäminen ihmisten ja koneiden kanssa samassa tilassa on mahdollista ja turvallista. Mobiilirobotti taajuusmuuttajien kuljettamisessa on toimiva ratkaisu, jolla poistetaan ainakin nostopöytien käyttöön kuluva aika, jota voidaan hyödyntää tuottavammassa tarkoituksessa.

Vuorovaikutusta ihmisten ja koneiden kanssa tutkittiin törmäystestien ja visuaalisesti mobiilirobotin käyttäytymisen perusteella. Törmäystesteissä kriteerinä oli mobiilirobotin kulkeminen maksiminopeudella 1,2 m/s ja mobiilirobotin yllättäminen esteellä puolen metrin etäisyydeltä osumatta esteeseen. Mobiilirobotti läpäisi törmäytestin. Mobiilirobotti oli kykeneväinen työskentelemään turvallisesti samassa tilassa ihmisten kanssa, koska se osasi ennakoida edessä oleviin esteisiin ja suunnitella reittinsä sen mukaisesti. Jos ihminen yllätti mobiilirobotin kulkuväylällään, mobiilirobotti pysähtyi ja etsi reitin kiertääkseen ihmisen tai se jäi odottamaan ihmisen siirtymistä, jos vaihtoehtoista reittiä ei löytynyt. Koneiden vuorovaikutuksen tutkimisessa havaittiin, että mobiilirobotti ja kone voi ajautua ahtaalla käytävällä tilanteeseen, jossa kumpikaan ei enää pysty väistämään toistaan. Täten mobiilirobotin toiminta-alue olisi hyvä suunnitella sellaiseksi, jossa koneet ja mobiilirobotit eivät kulkisi yhdessä. Jos toiminta-aluetta ei voi toteuttaa tällä tavalla, niin mobiilirobotin käyttäytymisestä olisi hyvä laatia koulutus koneiden kuljettajille.

Mobiilirobotin implementointi taajuusmuuttajien kuljettamiseen nykyisessä tuotantoprosessissa pitäisi toteuttaa siten, että taajuusmuuttajien operointialusta ja mobiilirobotin lisärakennelma taajuusmuuttajien kuljettamista varten olisi harmonisoitu. Pilotti tehtiin tuotantoprosessiin, joka käytti operointialustanaan rullarataa. Muut tuotantoalueen tuotantolinjat käyttivät taajuusmuuttajien kokoonpanoon ja kuljettamiseen nostopöytiä ja nostimia. Rullarata todettiin toimivaksi alustaksi myös mobiilirobotin lisärakennelmalle, joten se olisi harmonisointiratkaisuna hyvä. Mobiilirobotin implementointi vaatisi

vähintään tuotantolinjoille asennettavan rullaradan ja testausprosessin alkuun rullarata-puskurin taajuusmuuttajille, josta ne nostettaisiin testiin. Tuotantoalueen osat, jossa mobiilirobotti operoi, tulee suunnitella mobiilirobotin tilantarve silmällä pitäen. Tuotantoprosessissa tulisi välttää tilanteita, jossa mobiilirobotti telakoituu takaperin.

Ajallisesti mobiilirobotti ja ihminen ovat yhtä nopeat, kun otetaan huomioon, että ihminen vie ensin nostopöydällä taajuusmuuttajan testiin, jonka jälkeen se palaa linjalle. Vasta linjalle palattuaan kokoonpano voi jatkua tai alkaa. Mobiilirobotin pitää palata tuotantolinjalle taajuusmuuttajan kokoonpanon tahtiaikojen puitteissa, jotta tuotanto ei pysähdy. Ajallisesti mobiilirobotin telakoituessa otto- ja jättöpaikoille tulisi hyödyntää CAPS-ominaisuutta. Mobiilirobotin hyötyä pitää mitata muillakin tavoilla kuin vain ajan avulla. Nostopöytien käyttö raskaiden kuormien kanssa on ergonomisesti huono toteutus. Mobiilirobotti voi siis parantaa työhyvinvointia, kun nostopöydät poistuvat käytöstä. Jos kuljetusprosessin siirrot suunnitellaan hyvin, niin nostimia ei tulla tarvitsemaan, joka myös parantaa ergonomiaa ja työturvallisuutta.

Insinööri työ on onnistunut, ja kaikkiin tutkimuskysymyksiin saatiin vastattua. Insinööri työtä voidaan hyödyntää tulevaisuudessa teknisenä materiaalina mobiilirobottien implementoinnin projekteissa riippumatta taajuusmuuttajien tuotantolinjasta tai kuormasta ylipäätään. Insinööri työtä on jalostettava testausprosessin, varustelun ja materiaalilogistiikan kannalta, jotta saataisiin kokonaiskuva mobiilirobottien implementoinnista Large Drives -tuotantoalueelle.

Lähteet

- 1 ABB Suomessa. 2020. Verkkoaineisto. ABB Oy. 2020. <<https://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti/suomessa>>. Luettu 18.8.2020.
- 2 Introducing ABB. 2020. Yrityksen sisäinen materiaali. ABB Oy. 29.09.2020. Luettu 1.10.2020.
- 3 Parmar, Jignesh. 2011. What is HIPOT Testing (Dielectric Strength Test)? Verkkoaineisto. <<https://electrical-engineering-portal.com/what-is-hipot-testing-dielectric-strength-test>>. 22.12.2011. Luettu 2.8.2020.
- 4 Tzafestas, Spyros G. 2013. Introduction to Mobile Robot Control. Elsevier, 3.10.2013. Luettu 8.8.2020.
- 5 Automatic Guided Vehicles. 2020. Verkkoaineisto. MHI. 2020. <<https://www.mhi.org/fundamentals/automatic-guided-vehicles>>. Luettu 8.8.2020.
- 6 Integration of Automated Guided Vehicles. AGV – AIV – LGV... 2020. Verkkoaineisto. Inser Robótica. 2020. <<https://www.inser-robotica.com/en/news-autonomous-vehicles/>>. Luettu 8.8.2020.
- 7 Journal of Robotic Systems 14(4), 231–249. 1997. Verkkoaineisto. John Wiley & Sons. <https://deepblue.lib.umich.edu/bitstream/handle/2027.42/34938/2_ftp.pdf>. Luettu 9.8.2020.
- 8 C. Cadena, L. Carlone, H. Carrillo, Y. Latif, D. Scaramuzza, J. Neira, I. Reid, J.J. Leonard. 2016. Past, Present, and Future of Simultaneous Localization And Mapping: Towards the Robust-Perception Age. Verkkoaineisto. <<https://arxiv.org/pdf/1606.05830.pdf>>. Luettu 12.8.2020.
- 9 AGILOX IGV - Intelligent Guided Vehicle. 2020. Verkkoaineisto. Agilox. <<https://www.agilox.net/en/agilox-igv>>. Luettu 15.8.2020.
- 10 Agilox One Datasheet. 2020. Verkkoaineisto. Agilox. <https://www.posicraft.fi/wp-content/uploads/Agilox-esite_200720.pdf>. Luettu 15.8.2020.
- 11 MIR History. 2020. Verkkoaineisto. MIR. <<https://www.mobile-industrial-robots.com/en/about-mir/mir-history/>>. Luettu 16.8.2020.
- 12 MIR 500. 2020. Verkkoaineisto. MIR. <<https://www.mobile-industrial-robots.com/en/solutions/robots/mir500/>>. Luettu 16.8.2020.

- 13 MIR 100. 2020. Verkkoaineisto. MIR. <<https://www.mobile-industrial-robots.com/en/solutions/robots/mir100/>>. Luettu 16.8.2020.
- 14 MIR 200. 2020. Verkkoaineisto. MIR. <<https://www.mobile-industrial-robots.com/en/solutions/robots/mir200/>>. Luettu 16.8.2020.
- 15 MIR 1000. 2020. Verkkoaineisto. MIR. <<https://www.mobile-industrial-robots.com/en/solutions/robots/mir1000/>>. Luettu 16.8.2020.
- 16 Omron History. 2020. Verkkoaineisto. Omron. <<https://www.omron.com/global/en/about/corporate/history/>>. Luettu 16.8.2020.
- 17 Omron LD-250. 2020. Verkkoaineisto. Omron. <<https://industrial.omron.fi/fi/products/37222-00000>>. Luettu 17.8.2020.
- 18 Mobile Robots LD Series. 2020. Verkkoaineisto. Omron. <https://assets.omron.eu/downloads/datasheet/en/v12/i828_ld-series_mobile_robot_datasheet_en.pdf>. Luettu 17.8.2020.
- 19 Mobile Robots HD Series. 2020. Verkkoaineisto. Omron. <https://assets.omron.eu/downloads/datasheet/en/v2/i855_hd-series_mobile_robot_datasheet_en.pdf>. Luettu 17.8.2020.
- 20 Low Voltage AC Drives ABB Industrial Drives ACS880, drive modules 0.55 to 3200 kW. 2020. Verkkoaineisto. ABB Oy. 17.2.2020. <<https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=3AUA0000115038&LanguageCode=en&DocumentPartId=1&Action=Launch>>. Luettu 23.8.2020.
- 21 Scudde, Patrick. 2017. How Does an ESD Floor Take a Static Charge to Ground? Verkkoaineisto. Protective Industrial Polymers. 6.2.2017. <<https://www.protectiveindustrialpolymers.com/esd-control-flooring/esd-floor-take-static-charge-ground/>>. Luettu 24.8.2020.
- 22 Kenton, Will. 2020. First In, First Out (FIFO). Verkkoaineisto. Investopedia. 29.1.2020. <<https://www.investopedia.com/terms/f/fifo.asp>>. Luettu 13.10.2020.
- 23 What is a Gemba Walk and Why is it Important? 2018. Verkkoaineisto. Six Sigma Daily. 17.1.2018. <<https://www.sixsigmadaily.com/what-is-a-gemba-walk/>>. Luettu 13.10.2020.
- 24 Fleet Operations Workspace Core User's Manual REV D. 2020. Verkkoaineisto. Omron. 2020. <https://assets.omron.eu/downloads/manual/en/v1/i635_fleet_operations_workspace_core_-_user_guide_users_manual_en.pdf>. Luettu 21.9.2020.

- 25 LD Platform Peripherals Guide REV H. 2020. Verkkoaineisto. Omron. 2020. <https://assets.omron.eu/downloads/manual/en/v1/i613_mobile_robots_-_ld_platform_peripherals_users_manual_en.pdf>. Luettu 21.9.2020.
- 26 Hannu Strang. PC-advisor & Testfield inspector. ABB Oy. Helsinki. käytäväkeskustelu. 21.9.2020.
- 27 Fleet Manager. 2020. Verkkoaineisto. Omron. <<https://industrial.omron.fi/fi/products/fleet-manager>>. Luettu 14.10.2020.