

MOBIILIROBOTTIEN KÄYTTÖ TEHTAAN SISÄLOGISTIIKASSA



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Valkeakoski, Sähkö- ja automaatiotekniikka

Syksy, 2019

Niklas Nevalainen

Sähkö- ja automaatiotekniikka
Valkeakoski

Tekijä	Niklas Nevalainen	Vuosi 2019
Työn nimi	Mobiilirobottien käyttö tehtaan sisälogistiikassa	
Työn ohjaaja/t	Antti Aimo, Susan Heikkilä	

TIIVISTELMÄ

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tarjota sopivia vaihtoehtoja toimexiantajan eli Konecranesin Hämeenlinnan tehtaan sisäisen logistiikan automatisoinnin kehitykseen sopivia mobiilirobottivaihtoehtoja.

Markkinoilta etsittiin mobiilirobottimalleja ja valmistajia projektia varten. Näistä valittiin testikäyttöön samalta valmistajalta kaksi mallia. Robotteja käytettiin tekemään ennalta suunniteltuja siirtoja, joista nostimen kuljetus tarkastuksesta pakkaamoon todettiin hyväksi käyttöönottokohteeksi.

Testissä pyrittiin saaman tietoa robottien toimivuudesta, käytettävyydestä ja soveltuvuudesta tehtaan tarpeisiin. Ennalta oltiin huolestuneita, mah-
tuuko robotti kulkemaan tehtaan kapeilla käytävillä. Testi kuitenkin osoitti, että suurempia ongelmia ei tästä kapeudesta aiheutunut.

Johtopäätöksenä voi todeta, että tehtaan sisälogistiikkaa kannattaa lähteä automatisoimaan ja testissä ollut mobiilirobotti on hyvä vaihtoehto sen to-
teutukseen.

Avainsanat Logistiikan automatisointi, mobiilirobotti, sisäiset siirrot, sisälogistiikka

Sivut 27 sivua, joista liitteitä 1 sivua

Automation and Electrical Engineering
Valkeakoski

Author	Niklas Nevalainen	Year 2019
Subject	Using mobile robots for the indoor logistics of a factory	
Supervisors	Antti Aimo, Susan Heikkilä	

ABSTRACT

The purpose of this project was to provide suitable alternatives for the development of the automatization of inside logistics of the Konecranes Hämeenlinna factory in the form of mobile robots.

The project included a search for mobile robot manufacturers and models. Two models from the same manufacturer were selected for test use. The robots were used to perform pre-planned transports, out of which the transfer of hoists from inspection to packaging was considered a good choice for commissioning in this project.

The aim of the test was to obtain information on the robot's functionality, usability and suitability for the factory. Before the test there was a concern as to whether the robot would be usable in the narrow corridors of the factory. However, the test showed that no major problems were caused by said narrowness.

With this project I can say that it is worthwhile to start automating the on-site logistics of the factory and the tested mobile robot is a good alternative for implementing this at the factory.

Keywords Automation of logistics, inside logistics, inside transports, mobile robot

Pages 27 pages including appendices 1 pages

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	1
2	MOBIILIROBOTIT.....	2
2.1	Havaintokyky.....	2
2.2	Paikannus.....	3
2.3	Navigointi.....	4
2.4	Simultaneous Localization And Mapping.....	4
2.5	Mobiilirobotti Hämeenlinnan tehtaalla.....	5
3	MOBILE INDUSTRIAL ROBOTS (MIR).....	7
3.1	MIR200.....	7
3.2	MIR1000.....	8
4	MUUT VAIHTOEHDOT.....	9
4.1	Agilox.....	10
4.2	Nipper.....	12
4.3	Omron.....	13
5	MOBIILIROBOTTIEN TESTIKÄYTTÖ HÄMEENLINNAN NOSTINTEHTAALLA.....	15
5.1	Kartta.....	17
5.2	Kehikko.....	19
5.3	WISE 4060 I/O-moduulit.....	20
5.4	Ohjelmointi.....	21
6	TURVALLISUUS.....	23
7	POHDINTA JA JOHTOPÄÄTÖKSET.....	23
	LÄHTEET.....	25

Liitteet

Liite 1 Esimerkki MIR1000-mobiilirobottiin ohjelmoidusta tehtävästä

1 JOHDANTO

Konecranesin toimintastrategian mukaisena tavoitteena on parantaa automaatioastetta kaikissa prosesseissa ja soveltaa edistynyttä digitekniologiaa teollisessa kontekstissa. Hämeenlinnan valmistusyksikössä tämä prosessi on vielä alussa ja erilaisia kehitysvaihtoehtoja harkitaan. (Konecranes, 2019, s. 6)

Nykyään sisäinen logistiikka sitoo tehtaan henkilöstöä, joka voitaisiin automaatiota hyödyntämällä vapauttaa muihin tuottavampiin tehtäviin. Usein toistuvia siirtoja kannattaisi siis automatisoida. Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on tarjota sopivia vaihtoehtoja tehtaan sisäisen logistiikan automatisoinnin kehitykseen mobiilirobottien muodossa. Mobiilirobotit tarjoavat säästöjä verrattuna siihen, että siirrot tehtäisiin manuaalisesti. Mobiilirobotit ovat myös turvallisempia ja tarkempia kuin perinteinen logistiikka, joka Hämeenlinnan tehtaalla toimii trukeilla.

Tavoitteena on sekä teorian tasolla esitellä eri vaihtoehtoja että esitellä testituloksia niiden mobiilirobottien osalta mitä päätettiin testata. Testissä pyrittiin saaman tietoa robottien toimivuudesta, käytettävyydestä ja soveltuvuudesta tehtaan tarpeisiin. Logistiikan saralla teknologia kehittyy jatkuvasti autonomisten automaatoratkaisujen suuntaan ja tähän kehitykseen myös Konecranes haluaa päästä mukaan. Hämeenlinnan tehtaalla halutaan olla edelläkävijöitä mobiilirobottien saralla ja tämä pilottihanke on hyvä ensiaskele siihen suuntaan.

2 MOBIILIROBOTIT

Tässä opinnäytetyössä mobiilirobotilla tarkoitetaan itsenäistä mobiilirobottia, joka ei vaadi opastusvälineitä navigoimiseen. Nykyaikaisten mobiilirobottien käyttämät kaksi tärkeintä tapaa navigoida ovat SLAM (Simultaneous Localization And Mapping) ja QR-koodit. Anturipohjaiset liikkeet ennalta määritellyt reitit yhdistetään automaattiseen esteen havaitsemiseen takaamaan materiaalien turvallinen siirto. Reaaliaikainen langaton tiedonsiirto mahdollistaa useiden mobiilirobottien käyttämisen samassa järjestelmässä. Mobiilirobotteja käytetään pääasiassa logistiikan apuna materiaalien siirtoon. (Bertula, Han, Nieminen & Ye, 2019, s. 2-3)

Mobiilirobottiteollisuuden on ennustettu kasvavan lähes 10 % vuositahdilla ja vuonna 2020 markkinan on ennakoitu olevan yli kahden miljardin dollarin arvoinen. Mobiilirobotteja käytetään enimmäkseen varastoyrityksissä, mutta niitä myydään myös kasvavassa määrin valmistavan teollisuuden ja autoteollisuuden yrityksiin. Itsenäiset mobiilirobotit ovat korvaamassa perinteiset AGV-ratkaisut, jotka vaativat navigoimiseen apuvälineitä kuten esimerkiksi magneetteja. (Bertula ym., 2019, s. 2-3)

Jotta mobiilirobotti voi olla oikeasti autonominen sen pitää pystyä vastaamaan seuraaviin kolmeen kysymykseen:

- Mihin robotti on matkalla?
- Missä robotti on tällä hetkellä?
- Kuinka robotti pääsee kohdepaikkaansa?

Vastauksien saaminen vaatii, että robotilla joko on tai se osaa tehdä kartan ympäristöstään. Robotti pystyy ymmärtämään ja analysoimaan ympäristöään, löytämään sijaintinsa ympäristössä sekä suunnittelemaan ja toteuttamaan vaadittavat liikkeet paikasta toiseen siirtymisessä. (Demeester, n.d., s. 3)

Mobiilirobotteja on myös muita kuin pyörillä liikkuvia versioita, esimerkiksi jaloilla, ilmassa ja veden alla liikkuvat mobiilirobotit sekä monella eri tavalla maalla kulkevia robotteja. Kovalla ja tasaisella alustalla liikkuvassa pyörillä liikkuva robotti on kuitenkin yleensä etulyöntiasemassa. Pyörillä kulkemisen etuja ovat tehokkuus ja yksinkertainen mekaaninen toteutus. (Demeester, n.d., s. 12-16)

2.1 Havaintokyky

Mobiiliroboteissa käytetään monia erilaisia antureita asioiden ja ympäristön havaitsemiseen:

- Kosketusanturit puskureissa.
- Sisäiset anturit
 - Kiihtyvyyssanturit
 - Gyroskoopit
 - Kompassit ja kaltevuusmittarit

- Läheisyysanturit
 - Kaikuluotaus
 - Tutka
 - Laser-etäisyysmittarit
 - Infrapuna
 - Visuaaliset anturit: kamerat
 - Satelliittipohjaiset anturit: GPS

Tiedon keräämiseen antureilta on kaksi strategiaa: Voi käyttää raakaa anturidataa tai kerätä datasta ominaisuuksia kuten ympäristön elementeistä tunnistettavia rakenteita. Kannattaa kuitenkin huomata, että näitä molempia strategioita voidaan käyttää samassa robotissa. Esimerkiksi paikannukseen voidaan käyttää ominaisuuksien tunnistusta datasta, kun taas esteiden välttämiseen voidaan käyttää samanaikaisesti raakaa anturidataa. (Demeester, n.d., s. 40, 45)

2.2 Paikannus

Paikannuksen kehitys on saanut viimeisen vuosikymmenen aikana suurimman huomion tutkimuksessa. Paikannus on vaikea ongelma, jota on yritetty ratkaista tarkalla GPS:llä, joka toimisi sekä sisä- että ulkotiloissa. Tällaista GPS-anturia ei kuitenkaan ole vielä saatavilla: Sisätiloissa toimiseen ei saada tarpeeksi tarkkuutta. Lisäksi voi olla muitakin tavoitteita kuin maan viitekehyksessä tiedossa oleva sijainti. Robotti voi määrittellä suhteellisen sijaintinsa suhteessa kohteisiin tai ihmisiin. On mahdollista myös rakentaa kartta, jonka suhteen robotti paikantaa itsensä. (Demeester, n.d., s. 52)

Antureiden ja toimilaitteiden epävarmuuden vuoksi paikannus ja kartan rakentaminen on haastavaa. Havaintokyvyn saavuttamiseksi anturin kyky erottaa erilaiset tilat tai olomuodot ovat kriittisiä ja niitä rajoittavat anturikohina ja anturilaskostuminen. Kaikkia ympäristön ominaisuuksia ei voida tallentaa anturikohinan vuoksi. Esimerkkejä tästä ovat valaistusriippuvuus, hämärtyminen, ultraäänisignaalin heijastus tai monireittinen häiriö. Nämä mallintamattomat ympäristömuutokset aiheuttavat huomattavasti erilaisia anturilukemia, jotka näyttäytyvät anturin lukemissa kohinana tai epäjohtonmukaisuutena. Näin saadaan aikaan tilanne, jossa kaksi robotille identtistä ympäristöä tuottavat erilaiset lukemat ja anturisignaalien tietosisällön hyödyllisyys vähenee. Tätä ongelmaa voidaan ratkoa käyttämällä useita lukemia tai useita antureita. (Demeester, n.d., s. 53)

Anturilaskostumisesta aiheutuu tilanteita, joissa ei ole ainutlaatuisia kartoitusta anturitulojen ja ympäristön välillä eli erilaiset paikat saattavat näyttää samalta. Esimerkkinä tästä on infrapuna- tai ultraäänialueen lukema riippumatta tunnistettavan materiaalin väristä, rakenteesta tai koivuudesta. Yksittäinen havainto tarjoaa riittämätöntä tietoa robotin sijainnin tunnistamiseksi. Tätä voidaan ratkaista käyttämällä ajallisesti hajautettua sarjaa anturilukemia, joiden perusteella robotti paikannetaan. (Demeester, n.d., s. 54)

2.3 Navigointi

Navigoinnin tavoitteena on saavuttaa tavoiteasema mahdollisimman tehokkaasti ja luotettavasti saatavilla olevia tietoja ympäristöstä, tavoiteasemasta ja antureista hyödyntäen. Navigointi koostuu kahdesta pääosa-alueesta, jotka ovat reitin suunnittelu ja esteiden välttäminen. (Demeester, n.d., s. 91-93)

Reitin suunnittelu on pitkän aikavälin päättelyä, joka ohjaa robotin yleistä käyttäytymistä. Suunnittelu vaatii yleensä jonkin verran laskenta-aikaa ja perustuu epätäydelliseen mallinnukseen, koska todellinen maailma on dynaaminen. Näin ollen robotin täytyy sisällyttää uutta tietoa suunnitelmaan toteutuksen aikana. (Demeester, n.d., s. 91-93)

Esteiden välttäminen on lyhyen aikavälin päättelyä, joka perustuu reaaliaikaiseen sensorilukemiin. Se myös tarkoittaa reaktioita odottamattomiin tapahtumiin. Esteiden välttäminen voi muuttaa robotin käytöstä paikallisesti ja globaalisti. Paikallinen muutos ei vaikuta robotin suunniteltuun reittiin, vaan yleensä kiertää jonkun tietyn esteen ja palaa sitten suunnitellulle reitille. Globaali muutos vaatii strategista suunnitelmien muutosta, eli robotti joutuu suunnittelemaan uuden reitin hyödyntäen uutta tietoa. Reaktiivinen esteiden välttäminen ei yksin pysty viemään robottia tavoitesijaintiin, vaan reitin suunnittelu ja esteiden välttäminen ovat toisiaan täydentäviä ominaisuuksia. (Demeester, n.d., s. 91-93)

Reitin suunnittelualgoritmi on valmis vain silloin, kun kaikkien mahdollisten ongelmien kohdalla järjestelmä saavuttaa tavoiteaseman, jos se on mahdollista. Jos se ei ole, algoritmi raportoi niin rajallisessa ajassa. Tätä valmiutta uhrataan usein laskennallisen monimutkaisuuden vähentämiseksi. (Demeester, n.d., s. 91-93)

2.4 Simultaneous Localization And Mapping

SLAM eli Simultaneous Localization And Mapping on prosessi, jossa samanaikaisesti rakennetaan karttaa ja generoidaan arvio robotin sijainnista. SLAM tarjoaa robotille kyvyn paikallistaa itsensä ja ympäristön piirteet ilman etukäteen määriteltyä karttaa, joka on välttämätöntä monille navigointitehtäville. (Wang, 2011, s. 1)

Tarve kartalle ympäristöstä on kaksijakoinen. Ensinnäkin, karttaa tarvitaan usein muiden tehtävien tukemiseksi. Esimerkiksi kartta voi antaa tiedon reitin suunnittelulle tai tarjota intuitiivisen visualisoinnin ihmiskäyttäjälle. Toiseksi, kartta mahdollistaa robotin paikannuksen arvioinnissa tehdyn virheen rajoittamisen. Kartan puuttuessa edellisten paikannusten perusteella lasketun sijainnin perusteella navigoidessa sijainti voi virheellisesti ajautua ajan myötä, aiheuttaen paikannusvirheen. Toisaalta käyttämällä karttaa, esimerkiksi erotettavissa olevien maamerkkien joukkoa, robotti voi nollata tämän paikannusvirheen käymällä uudelleen näillä tunnetuilla alueilla.

Näin ollen SLAM löytää sovelluksia kaikissa tilanteissa, joissa aikaisempaa karttaa ei ole saatavilla ja se on rakennettava. (Cadena ym., 2016, s. 1)

Joissakin robotiikkasovelluksissa maamerkkisarjan sijainti tunnetaan etukäteen. Esimerkiksi tehdaskerroksessa toimiva robotti voidaan varustaa käsin rakennetulla kartalla ympäristön maamerkeistä. Toinen esimerkki on tapaus, jossa robotilla on pääsy GPS:ään, sillä GPS-satelliitteja voidaan pitää liikkuvina maamerkkeinä tunnetuissa paikoissa. Tällaisissa tilanteissa ei ehkä vaadita SLAM:ia, jos paikannus voidaan suorittaa luotettavasti tunnettuja maamerkkejä hyödyntäen. (Cadena ym., 2016, s. 1)

Mobiilirobottien sisäkäyttö on lisännyt SLAM:in suosiota, koska esimerkiksi GPS-paikannusta ei pystytä käyttämään. SLAM tarjoaa tässä kohtaa myös vaihtoehdon käyttäjän ennalta kokoamille kartoille ja näyttää että robotin operointi on mahdollista ilman varta vasten tehtyä paikannusinfrastruktuuria. (Cadena ym., 2016, s. 1)

2.5 **Mobiilirobotti Konecranesin Hämeenlinnan tehtaalla**

Ensimmäisenä käyttökohteena Hämeenlinnan tehtaalla mobiilirobotille kehitettiin sähkökomponenttien kuljetus varastosta eteenpäin aina lähettämöön asti. Toiseksi käyttökohteeksi valikoitui valmistuneiden nostinten kuljetus pakkaamoon. Nostimet voivat painaa jopa 1000 kg, joten niiden kuljetukseen tarvitaan paljon isompaa mobiilirobotia kuin sähkökomponenttien kuljetukseen. Näin ollen voisi olla parempi, jos tehtäviin löytyisi eri kokoiset robotit samalta valmistajalta yhteensopivuuden takaamiseksi. Tämä siirto valittiin myös ensimmäiseksi käytännön kohteeksi ja sitä ollaan ottamassa käyttöön tulevaisuudessa.

Yksi vaatimus mobiilirobotille on myös se, että sen täytyy olla täysin autonominen, koska Hämeenlinnan tehtaalle ei haluta asentaa mitään magneetteja tai muuta vastaavaa, jotka auttaisivat perinteisiä vihivaunuja kulkemaan. Näin ollen vaihtoehtoja ovat jonkinlaisella laserilla tai konenäöllä ohjautuvat laitteet. Myös turvallisuus on erittäin tärkeää ottaa huomioon, sillä tehtaassa kuitenkin liikkuu sekä ihmisiä että trukkeja samoilla käytävillä kuin mobiilirobotinkin pitäisi kulkea.

3 MOBILE INDUSTRIAL ROBOTS (MIR)

Tanskalainen MIR eli Mobile Industrial Robots on yksi maailman johtavista mobiilirobottien valmistajista. MIR on yksi ensimmäisistä alan yrityksistä ja heillä on tavoitteena olla maailmanlaajuisesti palveleva yritys. Yritys onkin kasvanut nopeasti. Heidän valmistamiaan mobiilirobotteja käytetään monilla eri teollisuuden ja terveydenhuollon aloilla automatisoimaan kuljetuksia. Yrityksen tuotteita ovat eri kokoiset mobiilirobotit ja niiden ohjelmistot. (Mobile Industrial Robots, 2019)

3.1 MIR200

MIR200 (kuvassa 1) on pienempi mobiilirobotti, joka pystyy kantamaan kuormia 200 kg asti, koukkulisäosan kanssa se pystyy kuitenkin hinaamaan jopa 500 kg kuormia. Sisäänrakennetuilla antureilla ja kameroilla se pystyy havaitsemaan ympäristönsä ja laskemaan ohjelmistossaan parhaimman reitin kohteeseensa. Robotti on helppokäyttöinen ja turvallinen ratkaisu logistiikan automatisointiin. MIR200 painaa 65 kg ja sen ulkomitat ovat (L)890 mm X (W)580 mm X (H)352 mm. 40 Ampeeritunnin akun kestävydeksi luvataan 10 tuntia tai 15 kilometriä, latausajaksi kaapelilla 4,5 tuntia ja lataustelakkaan liitettynä 3 tuntia. Maksiminopeus on 1.1 m/s eteenpäin ja 0.3 m/s taaksepäin. Robottia voi käyttää 5°C-40°C lämpötilavälillä. Robotin kanssa voi kommunikoida WLAN-, Bluetooth-, USB- tai Ethernet yhteydellä. Havaintoja robotti tekee kahdella vastakkaisissa kulmissa olevilla laserskannerilla, ultraäänisensorilla ja robotin etuosassa sijaitsevalla kameralla. (Mobile Industrial Robots, 2019)



Kuva 1. MIR200 (Mobile Industrial Robots, 2019).

3.2 MIR1000

MIR1000 (kuvassa 2) on suuremmalle 1000 kg kuormalle tarkoitettu mobiilirobotti. Tässä isommassa mallissa on samanlaiset laserskannerit ja kamera kuin MIR200-mallissakin, mutta lisäksi vielä yksi etukamera lisää, joka havaitsee korkeampia esteitä. Kun MIR200 havaitsee vain 50 cm korkeuteen asti olevat esteet, voi MIR1000 havaita kahden metrin korkeuteen. Tämän kameran saa myös lisämaksusta MIR200-malliin. Lisäksi MIR1000:ssa on myös läheisyysanturit jokaisessa kulmassa, joilla havaitaan matalia esteitä, joita laserskannerit eivät näe. MIR1000 on myös leveys- ja pituussuunnassa isompi kuin MIR200 (L 1350 mm x W 920 mm x H 320mm). MIR1000 painaa 230 kg. Nopeus, käyttöalueen lämpötila ja akun koko ovat samoja kuin MIR200-mallissa, mutta akku tietenkin hupenee nopeammin isomman laitteen käytössä, näin ollen akun kestoksi luvataan 8 tuntia. (Mobile Industrial Robots, 2019)



Kuva 2. MIR1000 (Mobile Industrial Robots, 2019).

4 MUUT VAIHTOEHDOT

MIR-mobiilirobottien lisäksi harkittiin myös muita malleja, ja tulevaisuudessa myös jatketaan mobiilirobottiteknologian kehityksen seurausta. Seuraavissa kappaleissa esitellään lyhyesti muutama syystä tai toisesta poissuljettu vaihtoehto.

4.1 Agilox

Agilox (kuvassa 3) kutsuu mobiilirobottiaan nimellä IGV eli Intelligent Guided Vehicle. Se pystyy nostamaan lavoja haarukoillaan, mutta Konecranesin tarpeisiin nostettavan lavan maksimikoko 1,600 x 1,200 mm oli liian pieni. (Agilox, 2019)



Kuva 3. Agilox IGV (Wikimedia, 2018).

Agilox IGV:lle on ominaista seuraavat ominaisuudet:

- Todellinen parviäly (swarm intelligence), suora viestintä kaikkien alueella olevien Agilox-laitteiden kesken.
- Ei ohjausjärjestelmää, avoimet rajapinnat.
- Ilman tilausjärjestelmän rajoituksia.
- Dynaaminen tilausjakelu ja tilanteesta riippuvainen uudelleenjakelu.
- Jatkuva reitin arviointi, dynaaminen reititys.
- Ei liikkumisrajoitteita, navigointitarkkuus ± 2 mm.
- Maksimaalinen energiatehokkuus.
- Joustavuus kuorman käsittelyssä.
- Agilox Analytics – tiedonkeruu.

(Posicraft Oy, 2019)

Patentoidulla käytöllään Agilox on liikkuvampi kuin mikään muu ajoneuvo. Vaadittaessa se voi pyörähtää paikallaan ja liikkua myös paralleelisesti. Se pystyy liikkumaan kapeissa käytävissä ja ahtaissa paikoissa. (Posicraft Oy, 2019)

4.2 Nipper

Myös Nipper (kuvassa 4) kuljettaa lavoja haarukoillaan, mutta se pystyy vain 223 mm nostokorkeuteen. Nipper ei myöskään osaa itse suunnitella reittiään vaan käyttäjä joutuu määrittämään käytettävän reitin itse. (F3-Design BV, 2019)



Kuva 4. Nipper (Dino Stretch Hood, 2018).

Täysin turvallinen Nipper toimii tiloissa, joissa ihmiset ovat aktiivisia. Nipper täyttää tiukimmat turvallisuusvaatimukset. Varustettu turvalasereilla, hätäpysäytinpuskurilla, hätäpysäytyspainikkeilla ja Blue Spot -laitteella. Nipper lisää turvallisuutta, säästää työvoimakustannuksia ja estää vaurioita ja onnettomuuksia. (Dino Stretch Hood, 2018)

Lavojen nostaminen jopa 1000 kg saakka on ongelmaton. Asennuksen ja koulutuksen jälkeen pystyt itsenäisesti ohjelmoimaan Nipperin. Nipper käyttää rakenteita ja muotoja työympäristössään referenssinä lokalisoinnissa. Tämä tarkoittaa, että infrastruktuuria eli induktiivisia johtimia, magneetteja tai heijastimia ei tarvita. (Dino Stretch Hood, 2018)

4.3 Omron

Omron (kuvassa 5) on hyvin samankaltainen mobiilirobotti kuin MIR, sen maksimikuorma on kuitenkin hyvin pieni 90 kg. Omron-mobiilirobotit, joilla on maailman suurin asennuskanta, toimivat tuhansissa sovelluksissa useilla toimialoilla. (Omron Industrial Automation, 2019)



Kuva 5. Omron LD-90 (Omron Industrial Automation, 2019)

Omronin mobiiliratkaisut ovat erittäin monipuolisia ja niitä voidaan muokata suorittamaan monenlaisia tehtäviä ja sovelluksia. Robotin päälle pitää asettaa tavara tai joku vaihtoehtoinen lisälaite, joka hoitaa lastauksen, esimerkiksi rullarata. (Omron Industrial Automation, 2019)

Omronin mobiilirobotti on suunniteltu täyttämään alan viimeisimmät vaatimukset, robotit ovat vuorovaikutuksessa ihmisten kanssa edistääkseen yhteistyöhön perustuvaa, turvallista työympäristöä. Turvalaserit ja luotain antavat robotille mahdollisuuden havaita tiellä olevia esteitä ja estää törmäyksiä. (Omron Industrial Automation, 2019)

Turvaominaisuudet:

- Välttää staattisia ja liikkuvia esteitä
- Täyttää ISO EN1525, JIS D6802 ja ANSI B56.5 turvallisuusstandardit (Omron Industrial Automation, 2019)

5 MOBIILIROBOTTIEN TESTIKÄYTTÖ KONECRANESIN HÄMEENLINNAN NOSTINTEHTAALLA

Konecranes vuokrasi MIR200- ja myöhemmin MIR1000-mobiilirobotit (kuvas-
sassa 6) maahantuojalta kahdeksi viikoksi koekäyttöön. MIR-laitteisiin pää-
dyttiin sen takia, koska se oli oikeastaan ainoa vaihtoehto tässä painoluo-
kassa, jota oli hyvin saatavilla Suomessa.



Kuva 6. MIR1000 jumissa telakoitumisvaiheessa.

Testien tarkoituksena oli nähdä, miten robotti suoriutuu liikkeissään tehdasympäristössä kapeilla käytävillä ja liikenteen seassa. Alkuun sisällytettiin myös päivän pituinen perehdytys robotin käyttöön. Perehdytys oli lyhyt ja pintapuolinen. Käyttöönotto sujui nopeammin kuin ensin ajattelin ja kartan teko oli eniten aikaa vievä kohta. Sen jälkeen robotin ohjelmoi yksinkertaiseen toimintaan noin parissa tunnissa. Yhteensä käyttöönottoon käytettiin aikaa yksi päivä. Testissä huomattiin, että myös isompi MIR1000 pystyy kulkemaan tehtaan kapeilla käytävillä ilman suurempia ongelmia. Ainoastaan kun robotin päällä on isompi lava, voi ympäri kääntyminen tuottaa ongelmia.

MIR200-Testi sujui pääpiirteittäin hyvin ja vaikka ongelmiaikin ilmeni, pystyttiin niitä myös ratkomaan. Oikeastaan ainoa ongelma tässä kohtaa oli se, että robotti ei näe tyhjiä trukkilavoja tai muita samalla tavalla matalia esteitä. MIR1000-versiota oli jo päivitetty ja siinä tämä ongelma oli korjattu.



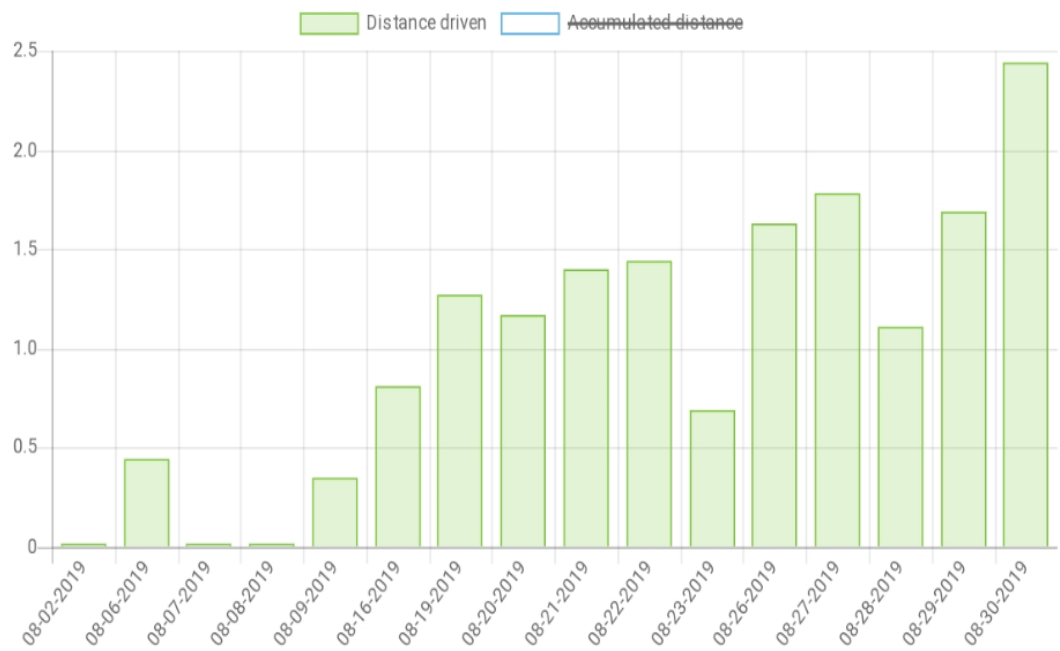
Kuva 7. Nostimen matka tarkastuksesta pakkaamoon.

MIR1000-testissä tarkoituksena oli kuljettaa valmiita nostimia tarkastuksesta pakkaamoon kuvassa seitsemän näkyvää reittiä pitkin. Nykyisessä tilanteessa nostin tarkastetaan rullalavalla, josta se siirretään trukilla pakkaamoon. Tästä on suhteellisen helppo siirtyä käyttämään mobiilirobottia, koska nostimen voi tarkastaa robotin telakassa tai helposti siirtää telakkaan tarkastuksen jälkeen.

Reitti kulkee tavallista tehtaan käytävää pitkin muun liikenteen seassa. Reitti valittiin, koska se on lyhyin ja nopein reitti. Myös toista vaihtoehtoa, nykyisen tuotantosolun läpi mietittiin, mutta se olisi vaatinut layout-muutoksen tehtaalla ja tähän ei testin takia haluttu ryhtyä.

Tämä todettiin hyväksi testikohteeksi juuri sen takia. Myös siirtoja on sopivasti yhdelle robotille hoidettavaksi, kuvasta kahdeksan nähdään, että robotti kulki testin kahden ensimmäisen viikon aikana noin 1,5 km päivässä. Ongelmia robotille tässä kohteessa saattavat aiheuttaa suuret erikoislatvat (1826 mm x 1237mm), joita käytetään nostinten alla ja tehtaan kapeat käytävät. Aluksi testi sujui hyvin, niin kuin suunniteltiin.

Kahden viikon koejaksoa päätettiin jatkaa, ja sen jälkimmäisellä puoliskolla havaittiin ongelmia robotin telakoitumisen kanssa. Satunnaisesti telakoituminen jättöasemalle ei vain onnistunut, ja syytä tähän ei selvinnyt. Viikonlopun jälkeen robotti kuitenkin toimi taas paremmin. Eniten ongelmia robotin liikkumiselle aiheuttivat kuitenkin muut työntekijät, jotka eivät osaa väistää robottia tarpeeksi kaukaa. Näin ollen robotti joutuu tekemään turhia väistöliikkeitä, jotka huonoimmassa tapauksessa pysäyttävät robotin hetkeksi kokonaan.



Kuva 8. Kahdessa viikossa robotin kulkema kilometrimäärä.

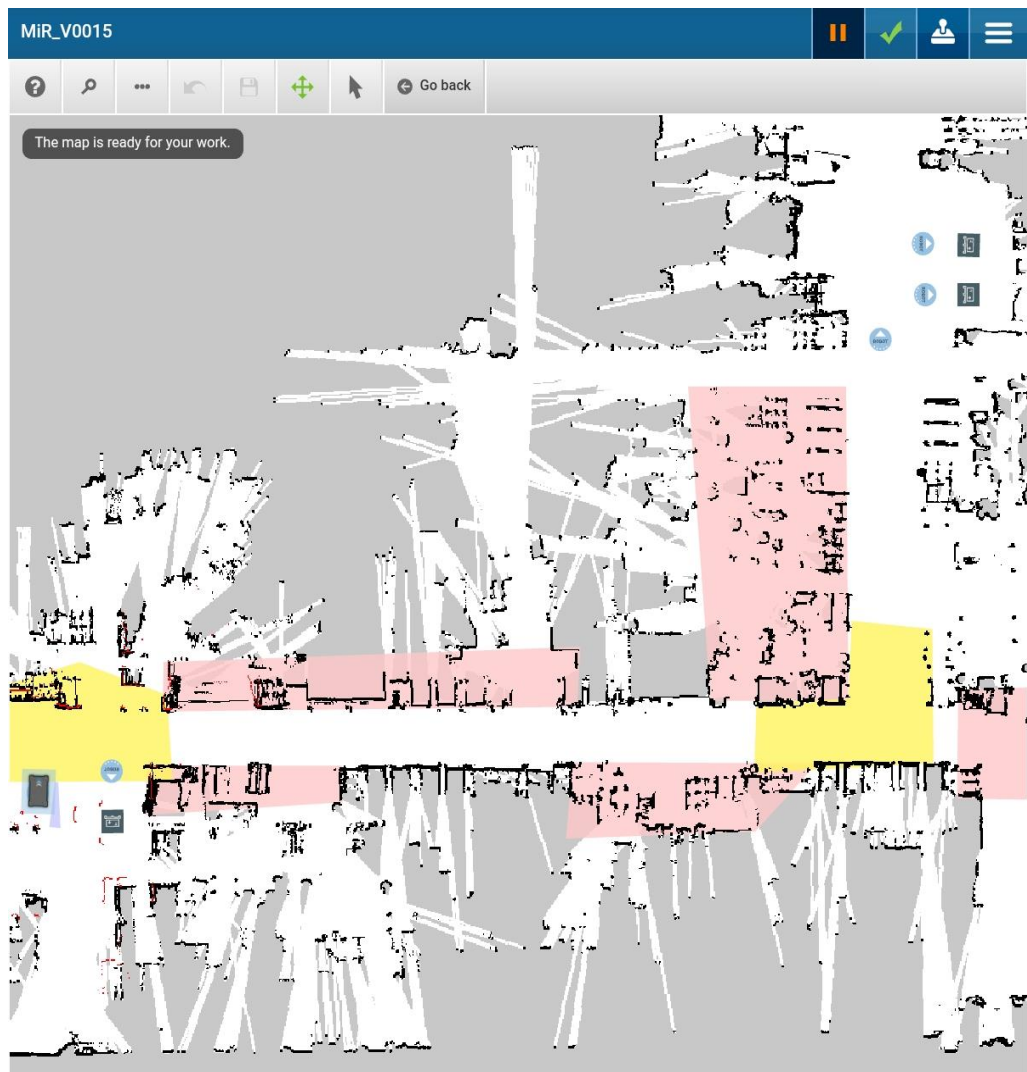
5.1 Kartta

Testi ja koulutus alkoi kartan (kuvassa 9) tekemisellä. Karttaa muodostuu, kun robotilla ajetaan manuaalisesti kartoitustila päällä. Kartan tekemisessä kannattaa olla huolellinen, sillä mitä tarkempi kartta on, sitä paremmin roboti toimii. Huonolla kartalla roboti hävittää paikannuksen ja näin ollen lopettaa liikkumisen. Robotin kartoitustoiminto muodostaa karttaa sitä mukaa mitä robotilla ajetaan manuaalisesti kartoitustilassa.

Karttaa voi myös muokata tietokoneohjelmilla tai käyttää karttana olemassa olevaa tehdaslayouttia, mutta silloin pitää olla tarkkana mittasuhteiden kanssa, koska väärät mittasuhteet kartassa vaikuttavat heti robotin paikannukseen. Kaikki robotin havaitsemat esteet näkyvät myös kartassa esteinä. Jos este ei ole pysyvä, se kannattaa pyyhkiä pois kartasta.

Kartoitustoiminnolla kannattaa ajaa samat alueet useaan kertaan parhaan mahdollisen tuloksen saamiseksi. Näin vältetään pitkien käytävien kaareutumista, mikä oli Hämeenlinnan tehtaallakin suurin ongelma robotin käytössä. Kaareutumisongelma on ilmeisesti tiedossa oleva ongelma, toivottavasti se voidaan korjata ohjelmapäivityksellä myöhemmin. Kaareutumisen takia karttaa myös korjattiin myöhemmässä vaiheessa testiä ja lopulta tehtiin se kokonaan uudestaan, että saatiin varsinkin pitkät käytävät suoriksi.

Kartan teko onnistuu nopeasti, jos ei tule edellä mainittua kaareutumisongelmaa. Hämeenlinnassa kartan tekoon käytettiin molemmissa testeissä noin yksi työpäivä, ja ilman ongelmia kartan tekoon olisi mennyt 2-3 tuntia. Karttaa ei tarvitse tehdä uudestaan, kun lisätään uusia mobiilirobotteja samalle alueelle, joten käyttöönotto nopeutuu seuraavien robottien kohdalla.



Kuva 9. Esimerkkikuva kartasta.



Kuva 10. MIR200 testissä.

5.2 Kehikko

MIR200 robotin päälle teetettiin kuvassa 10 näkyvä metallikehikko, johon pystyy laittamaan tavaroita kyytiin. Se oli yksinkertainen, kaksitasoinen kehikko, johon oli myös kiinnitetty varoitusvalo ja hätäseis-kytkin.

Testin aikana totesin, että jokin autonominen ratkaisu, joka siirtää tavarat robotin kyytiin ja siitä pois olisi parempi ratkaisu. Esimerkiksi jonkinlainen rullarataratkaisu. MIR1000 versio on tässä suhteessa parempi, koska siihen saa lisävarusteena nostimet trukinlavoille, joilla se pystyy noutamaan ja jättämään lavoja kuvassa 11 näkyville pisteille.



Kuva 11. MIR1000 tavaranhakupisteellä.

5.3 WISE 4060 I/O-moduulit

Tehdashallin oviin asennettiin WISE 4060 I/O-moduulit, joiden avulla robotti pystyy itsenäisesti avaamaan ovet tarvittaessa. Todettiin myös, että robotti tarvitsee lisälaitteena tulevan yläkameran, jotta se voi havaita korkeammalla olevia esteitä kuten esimerkiksi aukenevia tai sulkeutuvia ovia.

Lopputestin ajaksi saatiin tällaisen yläkameran lainaan ja ovista kulkeminen muiden esteiden havaitseminen onnistui paljon paremmin. Yläkamera on mielestäni melkein pakollinen lisävaruste. Myöhemmin samoja moduuleita käytettiin myös MIR1000 telakoissa, ilmoittamaan onko jättöpaikka tyhjä vai ei. Tässä kohtaa havaittiin yhteysongelmia, robotti ei aina yhdistänyt moduuliin ja saattoi lopettaa tehtävänsä kesken.

5.4 Ohjelmointi

Robotin ohjelmointi tehdään selaimen kautta toimivalla ohjelmistolla, johon pääsee, kun on samassa verkossa robotin kanssa. Tässä käyttöliittymässä robotin ohjelmointi on erittäin helppoa. Käytännössä ohjelmointi toimii niin, että aikaisemmin tehtyyn karttaan lisätään erilaisia alueita, joissa tapahtuu erilaisia toimintoja, esimerkiksi tehtävä pisteitä joihin robotin voi ohjata kulkemaan tai kiellettyjä alueita joihin robotti ei saa ajaa. Seuraavassa listassa tärkeimpiä testin aikana robottiin ohjelmoituja ominaisuuksia:

- Tehtävät (kuvassa 12), joiden mukaan robotti kulkee haluttuihin paikkoihin ja tekee haluttuja toimintoja, tästä on esimerkki liitteessä 1. Siinä tehtävänä on lavan kuljettaminen tavaranhakupisteeltä pakkauspaikalle
- Automaattinen oven avaus, kun robotti lähestyy niitä
- Kaistat pitkille käytäville, robotti kulkee oikeanpuoleista reunaa
- Kielletyt alueet tuotantosoluihin
- Äänimerkit risteysalueille ja valomerkit koko alueelle
- Kulkureittien priorisointi
- Latauksen automatisointi














Ohjelmoinnissa ilmeni myös muutamia ongelmia. Robotti unohtaa aluetiedot, eli esimerkiksi ääni- ja valomerkit, kun karttaan lisätään alueita. Robotti ei myöskään pysty toistamaan kahta äänimerkkiä samalla alueella.

Missions

Create and edit missions.

[+ Create mission](#)

Show missions:
Konecranes

-  **Hae ja vie lava**
Konecranes
-  **Hae lava**
Konecranes
-  **Mene latauspaikalle**
Konecranes
-  **Nostin alas**
Konecranes
-  **Nostin ylos**
Konecranes
-  **Palauta lava**
Konecranes
-  **RelMove-2m**
Konecranes
-  **Set footprint**
Konecranes
-  **Test switch**
Konecranes
-  **Test2**
Konecranes
-  **Testi 2 oikea**
Konecranes
-  **Vie lava lahattamoon oikea**
Konecranes
-  **Vie lava lahattamoon vasen**
Konecranes

Kuva 12. Lista testin aikana MIR1000-mobiilirobottiin ohjelmoituista tehtävistä.

6 TURVALLISUUS

Tässä luvussa käydään läpi ohjeita turvalliseen työskentelyyn mobiilirobotin kanssa. Näitä asioita pitää ottaa huomioon, kun operoi mobiilirobottia. Varsinkin jos robotilla on erityisen painava kuorma, on oltava tarkkana turvallisuuden kanssa. Käyttäjän pitää varmistaa tavaroiden oikea kiinnitys kuljetuksen aikana. Tästä löytyy lisätietoa robottien käyttöohjeista.

Nestevuotoja tulee välttää kuljetuksen aikana. Käyttäjän pitää varmistaa, että nesteitä sisältävät lastit eivät vuoda kuljetuksen aikana. Kartat täytyy pitää ajan tasalla vaaratilanteiden välttämiseksi. Karttaa päivittämällä voi pitää huolen siitä, että robotti ei pääse vaarallisille alueille. Robottia ei saa ajaa vastuuttomasti.

Robottia ei tule ajaa reunojen yli tai käyttää sitä muulla tavoin vastuuttomasti. Kaikkia robotin käyttäjiä pitäisi kouluttaa ajamaan turvallisesti. Robottia ei saa käyttää ihmisten kuljettamiseen. Yli 5 %:n kaltevuuksia pitää välttää, sillä tämä voi aiheuttaa robotin liukumista. Mobiilirobotilla saa ajaa vain tasaisella ja kuivalla pinnalla. Yleensä mobiilirobotit on tarkoitettu vain sisäkäyttöön. Pieniä esineitä lattialla robotin kulkuväylällä pitää välttää. Ne voivat aiheuttaa omaisuusvahinkojen ja / tai robotin vähäisten vaurioiden riskin.

Litiumparistot ovat ensisijaisia energialähteitä, joilla on korkea energiasäilytys ja jotka on suunniteltu edustamaan korkeinta mahdollista turvallisuusastetta. Litiumparistot voivat kuumentua, räjähtää tai syttyä ja aiheuttaa vakavia vammoja, jos niitä käytetään väärin sähköisesti tai mekaanisesti. (Mobile Industrial Robots, 2018)

7 POHDINTA JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Tämä opinnäytetyö on osa Konecranesin Hämeenlinnan tehtaan mobiilirobottien pilotointihanketta, jonka tavoitteena oli ottaa ensimmäinen askel kohti automatisoitua sisälogistiikkaa. Nykyään sisäinen logistiikka sitoo tehtaan henkilöstöä, joka voitaisiin automaatiota hyödyntämällä vapauttaa muihin tuottavampiin tehtäviin. Kaksi sopivaksi todettua mobiilirobottia oli tehtaalla testikäytössä, ensimmäinen kaksi viikkoa ja toinen neljä viikkoa.

Projektin aikana huomattiin, että robotti kulkee hyvin tehtaalla kapeista käytävistä huolimatta. Se toimii myös mekaanisesti erittäin hyvin. Ohjelmistopuolella oli ongelmiakin. Robotin telakoituminen voi epäonnistua satunnaisesti, ja Wise-kytkimeen ei aina saa yhteyttä. Eniten ongelmia robotin liikkumiselle aiheuttivat kuitenkin muut työntekijät, jotka eivät osanneet väistää robottia tarpeeksi kaukaa. Näin ollen robotti joutuu tekemään turhia väistöliikkeitä, jotka huonoimmassa tapauksessa pysäyttävät robotin hetkeksi kokonaan. Testien tulokset vastaavat odotuksia hyvin ohjelmisto-ongelmia lukuun ottamatta. Testirobotin havainto-, navigointi- ja paikannuskyvyt vastasivat teoriakohdassa esiteltyjä ominaisuuksia. Projekti toi hyvää kokemusta mobiiliroboteista Konecranesille, myös osamista niiden osalta karttui. Tämän jälkeen ollaan valmiimpia pysyvämpään mobiilirobottiratkaisuun.

Mielestäni tämän projektin perusteella voisi harkita MIR1000-mobiilirobotin käyttöönottoa Hämeenlinnan tehtaalle. Pelkästään kuvailtu prosessi, jossa robotti kuljettaa nostimia tarkastuksesta pakkaamoon olisi kannattavaa automatisoida, mutta tehtaalla on myös paljon muuta mitä robotti voisi kuljettaa. Näin voitaisiin aloittaa kevyesti ja jatkossa sitten nostaa robotin käyttöastetta. Esimerkiksi robotti voisi täydentää tehtaan erilaisia välivarastoja tai kuljettaa lavoja eri puolille tehdasta. Jos käyttöönotto onnistuu ja muita tehtäviä robotille keksitään monia, robotteja voidaan hankkia useita ja ajaa niitä laivueena, mikä optimoi robottien käytön ja kontrolloi niitä keskitetysti.

Yksi hyvä työkalu, jota kannattaisi hyödyntää tulevaisuudessa mobiilirobotteja käyttöönottaessa, on materiaalivirtojen simulointi. Simuloimalla erilaisia prosesseja nähtäisiin etukäteen hyödyt ja haitat. Se helpottaisi erilaisten prosessien vertailussa. Simulointiohjelmat ovat toki kalliita, eli kannattaa miettiä kuitenkin, kuinka suuret hyödyt simuloinnilla voidaan saavuttaa. Konecranes on suuri yritys ja simulaatiota voitaisiin hyödyntää yrityksen toimissa maailmanlaajuisesti. Mobiilirobotin käyttöönotto aiheuttaisi myös operatiivisia osaamistarpeita eli työntekijöitä pitäisi kouluttaa käyttämään robottia ja toimintaympäristö muuttuisi kaikilla tehtaan työntekijöillä, joten heitäkin pitäisi opastaa toimimaan samassa ympäristössä robotin kanssa.

LÄHTEET

- Agilox. (2019). Agilox IGV. Haettu 3.10.19 osoitteesta <https://agilox.net/en/agilox-igv>
- Bertula, A., Han, A., Nieminen, O. & Ye, J. (2019). Logimat tradeshow 2019 insights for AGV and AS/RS systems. Logimat-messujen kooste 16.04.2019, Shanghai. Konecranes Finland Oy:n sisäinen materiaali.
- Cadena, C., Carlone, L., Carillo, H., Latif, Y., Scaramuzza, D., Neira, J., Reid, I., Leonard, J. (2016). *Past, Present, and Future of Simultaneous Localization And Mapping: Towards the Robust-Perception Age*. Haettu 26.09.2019 osoitteesta <https://arxiv.org/pdf/1606.05830>
- Demeester, E. (n.d.). Autonomous Mobile Robots: locomotion, kinematics, perception, localisation and navigation. Haettu 28.08.2019, Luentomateriaali, Hämeen ammattikorkeakoulu.
- Dino Stretch Hood. (2018a). Nipper. Haettu 11.11.2019 osoitteesta <https://www.dinostretchhood.com/en/nipper/>
- Dino Stretch Hood. (2018b). Nipper banner. Haettu 3.10.2019 osoitteesta <https://www.dinostretchhood.com/en/nipper/nipper-banner-2-2/>
- F3-Design BV. (2019). Nipper AGV + Dino Stretch Hood. Haettu 03.10.2019 osoitteesta <https://www.youtube.com/watch?v=-XRU7Xx3kY4>
- Konecranes. (2019). KHH Presentation. Konecranes Finland Oy:n sisäinen materiaali.
- Mobile Industrial Robots. (2018). MIR200 User Guide. Haettu 10.10.2019 osoitteesta https://www.mobile-industrial-robots.com/media/4618/mir200-user-guide-v-12_en.pdf
- Mobile Industrial Robots. (2019a). MIR1000. Haettu 23.07.2019 osoitteesta <https://www.mobile-industrial-robots.com/en/products/mir1000/>
- Mobile Industrial Robots. (2019b). MIR200. Haettu 23.07.2019 osoitteesta <https://www.mobile-industrial-robots.com/en/products/mir200/>
- Mobile Industrial Robots. (2019c). Mobile Industrial Robots is a leading manufacturer of collaborative mobile robots. Haettu 24.06.2019 osoitteesta <https://www.mobile-industrial-robots.com/en/about-us/>
- Omron Industrial Automation. (2019). LD Series. Haettu 03.10.2019 osoitteesta <http://www.ia.omron.com/products/family/3664/lineup.html>

Posicraft Oy. (2019). Agilox Systems GmbH. Haettu 11.11.2019 osoitteesta <https://www.posicraft.fi/tuotteet/igv-automaattitrukit/agilox/>

Wang, Z. E. (2011). Simultaneous localization and mapping: Exactly sparse information filters. Singapore: World Scientific Publishing Co Pte Ltd.

Wikimedia. (2018). IGV Agilox. Haettu 03.10.2019 osoitteesta https://commons.wikimedia.org/wiki/File:IGV_Agilox.png

Esimerkki MIR1000-mobiilirobottiin ohjelmoidusta tehtävästä

14:37 | Dashboards | MiR_V0015 | Missions | Setup | MiR_V0015

mir.com/setup/missions/c6d68cf0-c7f5-11e9-9f3b

MIR_V0015

Hae ja vie lava

Watch and edit the mission.

Go back Save Save as Add action Delete

Nostin alas

Dock to **Hakupaikka**

Relative Move: X: **0.1** Y: **0** Orientation: **0**

Nostin ylös

RelMove-2m

Nostin alas

Move to **Latauspaikan edusta**

Loop for **endless** iterations

Content

If **Battery Percentage** < **20**

True

Move to **Latauspaikka**

False

If **WISE port 0** == **1**

True

Nostin ylös

Move to **Vientit2 lahestymis**

Dock to **Vientipaikka2**

Nostin alas

RelMove-2m

Mene latauspaikalle

Break

False

If **WISE port 1** == **1**

True

Nostin ylös

Move to **Vientit1 Lahestymis**

Dock to **Vientipaikka1**

Nostin alas

RelMove-2m

Mene latauspaikalle

Break

False

Play sound **Horn** in **Custom length**

Move to **Latauspaikan edusta**

Wait for **1 min**