

MOBIILIROBOTTIEN KÄYTTÖÖNOTTO JA TESTAUS KEMPPI OY:N TUOTANNOSSA

LAB-AMMATTIKORKEAKOULU
Insinööri (AMK)
Konetekniikka
Kevät 2020
Reea Vehkapuro

Tiivistelmä

Tekijä(t) Vehkapuro, Reea	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK Sivumäärä 24	Valmistumisaika Kevät 2020
Työn nimi Mobiilirobottien käyttöönotto ja testaus Kemppi Oy:n tuotannossa		
Tutkinto Konetekniikka, Insinööri (AMK)		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyön tarkoituksena oli testata kahta teollisuudessa käytettyä mobiilirobottia. Työ tehtiin Kemppi Oy:n elektroniikkatehtaalle helpottamaan materiaalivirtaa.</p> <p>Työssä koe testattiin kahden eri valmistajan teollisuusmobiilirobottia, joita vertailtiin lopuksi toisiinsa ominaisuuksiensa perusteella. Robotit olivat MiR ja Omron LD-60. Molempien vertailussa mukana olleiden robottien testaus suoritettiin noin kahden viikon mittaisen kokeilujakson aikana, jossa kummallekin robotille oli varattu viikko aikaa testaukseen.</p> <p>Vertailun jälkeen tehtiin suunnitelma mahdollisesta käyttöönotosta. Robotille suunniteltiin oma teline, johon se voi kuljettaa ja noutaa materiaalia.</p> <p>Tämän työn perusteella suositeltiin valittavaksi toinen mobiiliroboteista Kempin elektroniikkatehtaan käyttöön.</p>		
Asiasanat Omron, MiR, Mobiilirobotti, Kemppi		

Abstract

Author(s) Vehkapuro, Reea	Type of publication Bachelor's thesis	Published Spring 2020
	Number of pages 24	
Title of publication Initialization and testing of mobile robots in Kemppi Oy's production		
Name of Degree Bachelor of Mechanical Engineering		
Abstract <p>The subject of this thesis was to test two different mobilerobots and help to plan its initialization. The work of the thesis was made for Kemppi Oy in their electrical factory to help with logistics.</p> <p>Two mobilerobots were tested MiR and Omron LD-60. The subject of the tests were to compare their features between each other. Both of the robots were tested during two weeks. Time for each of the robot were given one week.</p> <p>The other mobilerobot was recommended based on these tests.</p>		
Keywords Omron, MiR, Mobilerobot, Kemppi		

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	1
2	MOBIILIROBOTIT.....	2
2.1	Yleistä.....	2
2.2	Omron Adept LD.....	3
2.3	Mobile industrial robot.....	6
2.4	Mobiilirobottien logistiikka	8
3	KEMPPI OY.....	9
3.1	Yritys	9
3.2	Mobiilirobotin käyttötarpeen selvitys yrityksen tuotannossa.....	9
4	TUTKIMUS	10
4.1	Lähtötiedot.....	10
4.2	Koeajot	10
4.3	Vertailua	11
4.3.1	Liikkumisalueen kartoittaminen	11
4.3.2	Liikkuvuus.....	15
4.3.3	Turvallisuus	16
4.3.4	Käyttöliittymä	16
5	KÄYTTÖÖNOTTO	20
5.1	Robotin käyttöönotto tuotantoon	20
5.2	Lisälaitteiden suunnittelu.....	21
6	YHTEENVETO	23
	LÄHTEET	24

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyön tarkoituksena oli koekäyttää ja vertailla kahden eri valmistajan teollisuudessa käytettävät mobiilirobotit. Työ toteutettiin Kemppi Oy:n elektroniikkatehtaalla, jossa arvioitiin robottien soveltuvuutta ja käyttökohteita Kempin tarpeeseen ja sen työympäristöön. Mobiilirobotin on tarkoitus helpottaa ja tehostaa Kempin elektroniikkatehtaan sisäistä materiaalivirtaa.

Lähtötilanteessa työntekijä joutuu irtautumaan työstään materiaalin hakemista varten, jos esimerkiksi komponenttihyllystä loppuu jokin tarvittava komponentti. Hänen täytyy hakea puuttuvat tavarat varastosta ja täyttää hylly itse. Myös varastohenkilö joutuu viemään piirikortteja materiaalihyllyihin. Mobiilirobotin käyttö mahdollistaisi puuttuvan tuotteen tilaamisen etänä, eikä aikaa kuluisi sen hakemiseen varastosta.

Robottiikka on yleistynyt teollisuuden käytössä nopeasti. Sen avulla saadaan nostettua yhtiöiden kilpailukykyä, sillä robotit pystyvät käsittelemään materiaaleja tarkemmin ja nopeammin kuin ihminen. Materiaalia pystytään myös jäljittämään paremmin, sillä välikädet jäävät pois. Robotit ovat kehittyneet yhä joustavimmiksi, mikä mahdollistaa tarpeettomien työvaiheiden poistamisen. Tämä puolestaan johtaa älyllisten ihmisresurssien ohjaamisen tärkeämpiin tehtäviin.

AMR eli mobiilirobotit ovat nopeasti kasvava markkina, sillä niistä saa kustannustehokkaita varastoissa, joissa tarvitsee siirtää paljon tavaraa paikasta toiseen.

Suomessa mobiilirobottien käyttö ei ole vielä yleistynyt, sillä täällä niille on pienet markkinat. Esimerkkejä robotin käytöstä on Helsingin pääkirjastossa Oodissa, jossa mobiilirobotteja hyödynnetään kirjojen kuljettamisessa ja lajittelussa. Vaunujen avulla kuljetuksia varastosta pystytään hoitamaan ympäri vuorokauden. (Oodi 2019.)

Opinnäytetyön aikana työskenneltiin testauksen ajan tehtaalla ja loput ajasta etänä, käyden tehtaalla silloin kun siitä sovittiin. Testattavana oli kaksi mobiilirobottia: MiR ja Omron-LD-60.

2 MOBIILIROBOTIT

2.1 Yleistä

Mobiilirobotiikka on yksi nopeimmin kasvavista aloista tieteellisen tutkimuksen alueella. Tämä johtuu siitä, että mobiilirobottien ominaisuuksilla voidaan avustaa ja korvata työvoimaa monilla eri aloilla. Aloja ovat muun muassa hätäpelastus operaatioissa, teollisuuden automaatioissa, rakennusalalla, terveydenhuollossa ja planeettojen tutkimisessa. Mobiilirobotit pystyvät toimimaan autonomisesti ilman operaattoria. Autonomisella robotilla tarkoitetaan robottia, jolla on kyky suorittaa tehtävä käyttäen hyväksi ympäristöä havaitsevia kohteita. Tämän lisäksi se tarvitsee myös kognitiivisen yksikön tai hallintajärjestelmän ohjaamaan ja käsittelemään muita robotissa olevia järjestelmiä. (Llopis-Albert 2019, 2.)

Mobiilirobotin toiminta perustuu seuraaviin osa-alueisiin: liikkumisjärjestelmä, havaitsemiskyky, hallintajärjestelmä ja navigointi. Liikkumisjärjestelmän ongelmat ratkaistaan ymmärtämällä sen mekanismia ja kinematiikkaa sekä dynamiikkaa ja ohjausteoriaa. Havaitsemiskykyyn liittyy signaalianalyysia, konenäköä ja anturiteknologiaa. Kognitiivinen kyky on vastuussa robotille tulevan tiedon analysoimisesta, jota saadaan anturien ja muiden havaitsemiseen tarvittavien laitteiden avulla. Hallintajärjestelmä muuttaa tiedon robotin ymmärtämään muotoon, jotta robotti pystyy suorittamaan tehtävänsä. Navigoinnissa käytetään hyödyksi algoritmeja, tekoälyä ja informaatioteoriaa. (Llopis-Albert 2019, 2.)

Teollisuus mobiilirobotit on kehitetty ympärivuorokautiseen materiaalin kuljetukseen. Ne ovat luotettavia ja nopeita. Ne hyödyntävät suunnistaessaan ympäristöä havaitsevia sensoreita, joten ne pystyvät navigoimaan automaattisesti vaihtelevissakin laitosympäristöissä. Ylimääräisiä asennuskuluja ne eivät aiheuta, eivätkä ne tarvitse lattiamagneetteja, lasermajakoita tai muita varusteita, joita tarvitaan vihivaunuissa.

Mobiilirobotin käyttö on vaivatonta, sillä sen toimituspisteitä pystytään muuttamaan helposti tehtävästä riippuen. Robotin tueksi voidaan myös asentaa ja ohjata erilaisia automaattilaitteita, kuten robottikäsiä tai -kuljettimia, joiden ansiosta tavaroiden siirrosta tulee sujuvampaa ja jäljitettävämpää. Näiden ominaisuuksien ansiosta mobiiliroboteista saadaan hyvin joustavia eri ympäristöihin. Niitä käytetäänkin usein solumaisissa tuotannoissa, joissa tarvitsee siirtää tavaroita paikasta toiseen nopeasti ympäri vuorokauden.

Mobiilirobotteja on ollut jo vuosikymmeniä Nasan käytössä, mutta vasta vähän aikaa sitten niitä on alkanut ilmaantua teollisuuskäyttöön teknologian kehittyessä. (Nasa 2019.)

Toinen samankaltainen materiaalin kuljetusväline on AGV eli automaattitrucki (englanniksi Automated Guided Vehicle). Automaattitrukit kulkevat ennalta määrättyä reittiä erilaisten

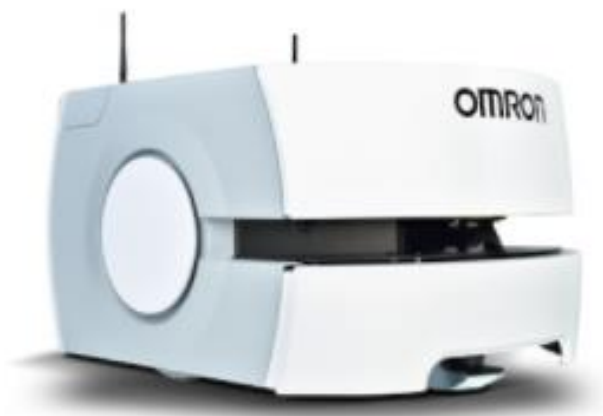
avustavien merkintöjen, kuten magneettinauhujen tai lasereiden avulla. Mobiilirobotit sen sijaan suunnistavat sensorien ja laser-skannereiden sekä oman robottiin ajetun sisäisen kartan avulla. Sensorit mahdollistavat sen, että robotti pystyy toimimaan myös ihmisten parissa ja dynaamisessa ympäristössä. Mobiilirobottien etuja automaattitrukkeihin verrattuna ovat esimerkiksi niiden joustavuus, kyky toimia itsenäisesti ja mahdollisuus toimia ihmisten ympärillä pieniä kuormia toimittaessa.

Joustavuutensa ansiosta mobiilirobotteja voidaan käyttää solumaisessa tuotannossa. Työpisteiden ei tarvitse olla vakiintuneita. Tämä mahdollistaa sen, että robotti pystyy kuljettamaan tuotetta työpisteeltä toiselle. Ne ovat kustannustehokkaita tämän ansiosta.

2.2 Omron Adept LD

Omron Adept LD on japanilaisen Omron yhtiön suunnittelema ja valmistama robotti. Omron tuottaa näiden mobiilirobottien lisäksi muitakin tuotteita teollisuuteen, kuten ohjausjärjestelmiä, robotiikkaa, turvatuotteita sekä antureita. Omron Adept LD:n käyttökohteita on kevyet kuljetukset teollisuudessa, terveydenhuollossa ja logistiikassa. Omron LD pystyy toimimaan jopa 15 tuntia yhdellä latauksella ja sen keskimääräinen latausaika on noin 4 tuntia. (Omron 2020a)

Omron Adept LD:tä (kuva 1) on saatavilla kolmea eri mallia: LD-60, LD-90 ja LD-250. Ero versioiden välillä on se, kuinka paljon kuormaa ne pystyvät kantamaan. LD-60 pystyy kantamaan 60 kg:n kuormia, LD-90 pystyy kantamaan 90 kg:n kuormia ja LD-250 pystyy kantamaan jopa 250 kg:n kuormia. Kempin koeajossa käytettiin LD-60-mallia. (Omron 2020a.)



Kuva 1. OMRON mobiilirobotti. (Omron 2020c.)

LD on suunniteltu toimimaan itsenäisesti sisätiloissa ja ihmisten parissa. Robotti tietää sijaintinsa työympäristössä ja se käyttää navigoidessaan ensisijaisesti lasernavigointia sekä gyroskooppia. Laserin lukujen perusteella se tulkitsee sijaintinsa vertaamalla saatuja arvoja digitaalisen karttaan. Turvaskannaus laseri sijaitsee robotin edessä, ja sillä on 240 asteen näkyvyys ja se näkee jopa 15 metrin päähän eteensä. Turvalaseri ei pysty havaitsemaan luotettavasti laseja, peilejä tai muita heijastavia esineitä. Jos kyseisten asioiden vierestä pitää päästä ajamaan, on hyvä käyttää apuna suunnistuksessa magneettiteippejä, joita robotti pystyy tunnistamaan. (Omron 2020a.)

Tämän laserin lisäksi sillä on edessä alhaalla laseri, kaksi taaksepäin suuntautuvaa ääniluotainta, edessä oleva turvakytin ja sensorit molemmissa ajorenkaimissa sekä robotin sisällä oleva gyroskooppi. Alhaalla oleva laseria käytetään matalien kohteiden havaitsemiseen. Ääniluotaimet toimivat jopa viiteen metriin asti, mutta suositeltavaa on käyttää niiden lukemista vähintään kahteen metriin asti, jotta saadaan tarkat tulokset. Ääniluotaimia käytetään siinä tapauksessa, jos robotti joutuu peruuttamaan latauspisteeseen tai jos robotin edessä oleva kytin osuu johonkin asiaan. (Omron 2020a.)

Robotin renkaissa olevat sensorit kertovat navigointi systeemille kuinka paljon renkaat ovat kääntyneet ja mihin suuntaan. Robotin sisällä oleva gyroskooppia käytetään kertomaan robotille sen kääntyvyydestä. Robotin edessä oleva turvakytin on sitä varten, jos kohteenhavaitsemis systeemi epäonnistuu havaitsemaan kohdetta ja osuukin siihen. Tällä varmistetaan se, ettei robotti aja kohteen päältä vahingoittaen itseään tai kohdettaan. (Omron 2020a.)

Jatkuvasti muuttuvissa ympäristöissä voidaan vaihtoehtoisesti käyttää myös ylöspäin suuntaavaa kameraa. Kamera tunnistaa katossa olevat valot ja saa apua paikoitukseensa. Skannausalueiden pituutta voidaan muuttaa sen mukaan, kuinka herkästi halutaan robotin reagoivan ympäristöönsä. (Omron 2020a.)

Lisälaitteita LD:lle ovat kuljetuskärryt, jotka näkyvät kuvassa 2. Kärryjä on kahta erilaista mallia: LD-105CT ja LD-130CT. Kärryjen ero on siinä, kuinka paljon ne pystyvät kantamaan tavaraa. LD-105CT pystyy kantamaan 105kg:n kuormia ja LD-130CT pystyy kantamaan 130kg:n kuormia. Molemmat kärryt sisältävät sivulaaserit ja takalaaserin. Kärryjen avulla robotti pystyy kantamaan painavampia kuormia ja havaitsemaan paremmin ympäristöään. Kärryt sisältävät myös I/O-paikkoja, joita voidaan käyttää esimerkiksi kutsunappeihin ja ovien avaamiseen käytettäviin applikaatioihin. (Omron 2020b)

Yksi lisälaitteista on Fleet Operations Workspace, jolla voi hallita useampaa mobiilirobottia samanaikaisesti. Workspacen avulla voidaan myös tarkkailla, suunnitella ja operoida jokaisen mobiilirobotin liikkeitä ja vaikutusta muihin mobiilirobotteihin. Tämän avulla pystytään tarkkailemaan ja välttämään robottien ruuhkautumista, sillä Fleet pystyy hallinnoimaan automaattisesti mobiilirobottien reittejä. Näiden lisäksi Workspacella voidaan hallinnoida työhonoa. (Omron 2020b.)



Kuva 2. Kuljetuskärryt. (Omron 2020d.)

2.3 Mobile industrial robot

MiR100 on tanskalaisen Mobile Industrial Robots ApS:n valmistama robotti. MiR tulee sanoista Mobile Industrial Robot. Sen käyttökohteita ovat kevyet kuljetukset teollisuudessa, terveydenhuollossa ja logistiikassa. Sen päälle pystytään suunnittelemaan ja asentamaan käyttölaitteita käyttökohteesta riippuen. MiR100 pystyy kantamaan 100 kilon kuormaa ja vetämään 300 kiloa perässään MiRHook-lisälaitteen avulla. (MiR 2020a.)



Kuva 3. MiR mobiilirobotti. (MiR 2020a.)

MiR mobiilirobotti kykenee toimimaan 10 tuntia yhdellä latauksella. Sen kääntösäde on 520 mm ja paikoitustarkkuus on ± 10 mm. Edessä ja takana robotissa on SICK:n valmistamat S300-turvalaserskannerit, joilla se näkee 360 astetta ympärilleen. Se käyttää skannereita tunnistessaan objekteja ympäristöstään. Laitteen edessä on Intel RealSense 3D-kamera, jolla se pystyy havaitsemaan objekteja, jotka ovat 50-500mm lattian yläpuolella. MiR100:een on myös kehitteillä uudenlaiset skannerit, joilla se pystyy havaitsemaan läpinäkyviä objekteja. (MiR 2020b.)

MiR-laitetta on saatavilla eri malleja: MiR100, MiR200, MiR250, MiR500 ja MiR1000. Eroa näillä versioilla on se, kuinka paljon ne pystyvät kantamaan kuormaa päällään. MiR100 jaksaa kantaa päällään 100kg:n kuormia, MiR200 jaksaa kantaa 200kg:n kuormia. Käytännössä mallin nimi kertoo sen, kuinka paljon se jaksaa kantaa kuormaa päällensä kiloina. Kuvassa 4 on MiR1000. MiR500 ja MiR1000 poikkeavat muotoiluiltaan siinä, että ne pystyvät kuljettamaan huomattavasti painavempia massoja päällensä. (MiR 2020c.)



Kuva 4 MiR1000 mobiilirobotti. (Omron 2020f)

Yksi lisälaitte MiR:lle on MiR Hook 100, joka näkyy kuvassa 4. Se on suunniteltu käytettäväksi MiR100 mallissa, ja se on täysin käyttäjäystävällinen ja tehokas tapa modulaarisiin kuljetuksiin. Se pystyy automaattisesti tarraamaan vetokärryihin, ja sitä käytetäänkin tuotannossa, logistiikassa ja sairaalaympäristöissä. MiR Hook tunnistaa kärryt QR koodin avulla ja pystyy kuljettamaan ne itsenäisesti haluttuun paikkaan. (MiR 2020d.)



Kuva 5. MiR Hook. (MiR 2020d)

Näitä robotteja ja muita lisälaitteita voidaan ohjata yhdestä pisteestä käsin MiR Fleetin avulla. Se toimii kaikissa laitteissa, joissa on web-selain. MiR Fleet vaatii toimiakseen lisenssin ja An Intel® NUC Kitin, joka toimii MiR Fleet PC:nä. Käyttäjät ottavat yhteyttä MiR Fleet PC:hen omilta selaimiltaan ja pystyvät antamaan komentoja roboteille. Jotta robotit toimisivat Fleetin kanssa, on niiden oltava samassa tietoverkossa. MiR Fleet pystyy priorisoimaan ja valitsemaan lähimmän vapaana olevan robotin roboteille annettua tehtävää varten. MiR Fleet pystyy myös käskemään robottien mennä latautumaan, jos niiden akku on lopussa. (MiR 2020e.)

2.4 Mobiilirobottien logistiikka

Logistiikan teollisuudessa yksi haasteista on työvoiman saatavuus. Resursseja kuluu tässä yleensä tavaroiden kuljetukseen sekä lajitteluun. Se vaatii reittien ja aikataulujen suunnittelua, jotta saadaan tavarat pisteestä A pisteeseen B mahdollisimman tehokkaasti. Kasvavan teollisuuden myötä materiaalivirtaa pitäisi pystyä hallitsemaan mahdollisimman kustannustehokkaasti sekä vähän aikaa vievästi. (Sabell 2020.)

3 KEMPPI OY

3.1 Yritys

Kemppi Oy on suomalaisperheen omistama ja johtama yritys. Se valmistaa, markkinoi ja suunnittelee hitsauslaitteita ja -ohjelmistoja monien sektoreiden hitsaustarpeisiin. Sen lisäksi se tarjoaa asiantuntijapalveluita, kuten koulutusta, konsultointia ja huoltoa. Kempillä on kaksi tuotantolaitosta Lahdessa. Sen lisäksi sillä on tytäryhtiöitä 16 maassa. Kemppi työllistää yli 800 henkilöä 13 maassa ja sen liikevaihto on yli 150 miljoonaa vuodessa. (Kemppi 2020a.)

Kempin lipputuote tällä hetkellä on X8 Mig Welder. Se on suunniteltu niin, että sitä voidaan käyttää eri hitsauskohteissa ja eri hitsaustyyyleillä puikkohitsauksesta pulssi-MIG/MAG- hitsaukseen. Järjestelmässä pystytään käyttämään digitaalisia hitsausohjeita. (Kemppi 2020b.)

3.2 Mobiilirobotin käyttötarpeen selvitys yrityksen tuotannossa

Elektroniikkatehtaalla kulkee sisäisesti paljon materiaalia. Paikoillensa näitä kuljettaa yleensä varastotyöntekijä, mutta myös linjoilta joutuu välillä irtautumaan työstään esimerkiksi komponenttien tai piirikorttien ollessa lopussa.

Robotin käyttöympäristö tulee olemaan teollisuushalli, joka pitää sisällään juotoslinjaston, työskentelypisteitä sekä varaston.

Suomessa ei ole montaa mobiilirobottien toimittajaa, mikä rajasi testausmahdollisuuksia. Paras mobiilirobotti Kempin tarpeisiin on robotti, jota pystytään käyttämään useassa eri kohteessa sitomatta paljon investointeja ja resursseja esimerkiksi lisävarusteiden hankintoihin tai muuttamatta jo olemassa olevia tarvikkeita, joita käytetään elektroniikkatehtaan sisäisessä materiaalivirrassa. Robotin tulisi myös pystyä navigoimaan tehdasympäristössä ilman että tehtaan valmista pohjaa tarvitsisi muuttaa.

4 TUTKIMUS

4.1 Lähtötiedot

Molempien mobiilirobottien testaus suoritettiin noin viikon mittaisissa koejaksoissa, joissa arvioitiin niiden soveltuvuutta sekä hyötyjä ja käyttömahdollisuuksia. Koeympäristönä toimi Kempin elektroniikkatehdas Lahdessa, johon robotin on tarkoitus tulla käyttöön. Käyttöympäristö on tehdashalli, jossa on tasaiset kumimaiset lattiat. Halli pitää sisällään useita varastohyllyjä, varastoitua tavaraa, työskentelypisteitä, juotoslinjoja sekä lakkauspisteitä. Robotille suunniteltu kulkemisaalue tulee olemaan täysin esteetön ja helposti kuljettavissa. Robotin etenemiselle saattaa kuitenkin tulla tehdasympäristössä esteitä. Kyseisiä esteitä voivat olla tehtaalla kulkevat henkilöt, lavahyllyt tai komponenttikorttikärryt. Mobiilirobotin tulee siis pystyä navigoimaan itse perille ilman ongelmia myös yllättävissä tilanteissa.

4.2 Koeajot

Molempien mobiilirobottien kokeilu alkoi tehdasalueen kartoituksella. Kun kartoitukset oli saatu valmiiksi, luotiin helppoja pisteitä, joihin robotit pystyivät ajamaan. Robotteja seurattiin ajojen aikana ja havainnoitiin, pystyivätkö ne ajamaan niille annettuihin pisteisiin. Testeissä kokeiltiin myös käytettävyyttä ja erilaisia virhetilanteita. Esimerkki testauskenaariosta: robotti lähtee varastosta ja ajaa pisteeseen A. Se odottaa siellä 20 sekuntia ja lähtee liikkeelle, kun sille annetaan lupa tai kun 20 sekuntia on kulunut. Tämän jälkeen se ajaa pisteelle B.

Ympäri tehdashallia luotiin pisteitä, joihin ajettiin kuvatus skenaarion mukaisesti. Robotin ajoa seurattiin ja kirjattiin ylös mahdollisia virhetilanteita, joita sattui ajojen aikana. Mahdollisia virhetilanteita saattoi tulla esimerkiksi, jos robotti ei päässyt kohteeseensa, se kadotti paikkansa kartalta tai se ajoi hyllyjen väliin ja tulkitsi olevansa jumissa.

Koeajoissa testattiin myös skenaarioita, joissa robotin ei ollut mahdollista päästä kohteeseensa. Robottia seurattiin, miten se tässä tilanteessa ohjautuu sille vaihtoehtoisesti annettuun pisteeseen.

Koeajot toteutettiin Kempin elektroniikkatehtaan ympäristössä ja se vaikutti joiltakin osilta näihin ajoihin. Häiriötekijöitä robottien liikkumiselle muodostui muuttuvien kulkureittien vuoksi. Kulkureiteille oli saatettu jättää esimerkiksi kuormalavoja tai juotuskärryjä, jotka estivät robotin kulkemista ja määränpäähänsä saapumista. Joissakin tapauksissa robotti

saattoi lähteä ujuttamaan itseään pieniin koloihin tehdessään väistöliikkeitä, jolloin se jäi jumiin. Ohjelmapuolella ilmeni myös jonkin verran ongelmia. Kempin elektroniikkatehdas sisältää erilaisia koneita, joista robotit ottivat häiriötä. Tämä aiheutti usein sen, että ne saattoivat pudota WLAN-verkosta, jolloin robotin ohjattavuus katosi kokonaan.

Näiden testien tuloksena todettiin toisen testatun robotin soveltuvan ominaisuuksiltaan paremmin Kempin elektroniikkatehtaan ympäristöön.

4.3 Vertailua

Arvioinneissa vertailtiin robottien kartoituksen helppoutta, korjausliikkeitä, liikkuvuutta, turvallisuutta ja käyttöliittymän helppoutta. Myös joitakin muita mietteitä nousi näiden ajojen aikana liittyen esimerkiksi akunkestoon ja liikkeiden sulavuuteen tehdasympäristössä. Testeissä arvioitiin myös, miten mobiilirobotti reagoi ympäristöönsä yllättävissä tilanteissa ja kuinka hyvin se löytää määränpäähensä.

4.3.1 Liikkumisalueen kartoittaminen

Molemmissa roboteissa on samankaltainen kartoitus. Robotilla ajetaan läpi alueet, joissa sitä halutaan käyttää. Ajamisen jälkeen viimeisteltiin kartta käyttökuntoon.

Koska MiR on selainpohjainen, verkkoyhteyksien on oltava hyvät. Ohjaus pystytään toteuttamaan kannettavalla tietokoneella, tabletilla tai omalla älypuhelimella. MiR:n vahvuus onkin se, että karttoihin, käskyihin ja ohjaukseen pääsee kaikkialta käsiksi, kunhan älylaitteessa on nettiselain. MiR:in kanssa ilmeni ongelmia verkosta putoamisen kanssa, joka joiltain osin hankaloitti kartoitusta. Verkosta putoaminen johtui todennäköisesti suurimaksi osaksi tehtaalla olevista koneista, jotka häiritsivät tietoliikenneverkkoa. Kartoitus luotiin tyhjälle pohjalle ja jos laite kadotti yhteyden verkkoon, jouduttiin kartoitus aloittamaan alusta, sillä robotti ei tallentanut keskeneräistä karttaa.

Robotin kartoitus lähtee siitä, että sillä ajetaan läpi alueet, joissa sitä halutaan käyttää. Se skannaa lasereillansa aluetta ja luo karttaan seinät ja esteet. Karttaa voidaan jälkikäteen siistiä ja muokata, jos näyttää siltä, että karttaan on tullut jotain, mitä ei haluta siellä olevan. Näitä ovat esimerkiksi henkilöt tai laatikot, jotka eivät sijaitse normaalisti alueella. Kuvasta 5 näkee MiR-robotin kartan käsittelemättömänä. MiR:in kartoituksessa paras tapa oli lähteä kartoittamaan jokaista käytävää erikseen. Syy tälle oli, että kartoitus saattaa heittää joitakin asteita, jolloin kartasta tulee epätarkka ja vino. MiR:in käyttöönotto opas suosittelee, että kartoitus tapahtuu kuvan 6 mukaisesti, eli puu-rakenteisena ajona. Näin saadaan kartasta tarkempi. Kempin elektroniikkatehtaan tapauksessa kyseistä

menetelmää oli vaikea käyttää, tehtaan muotonsa takia. Robottia haluttiin ajaa ympyränmuotoisella alueella. (Mobile Industrial Robots 2016, 11.)



Kuva 6 Puu-rakenne ajo (Mobile Industrial Robots 2016, 12.)

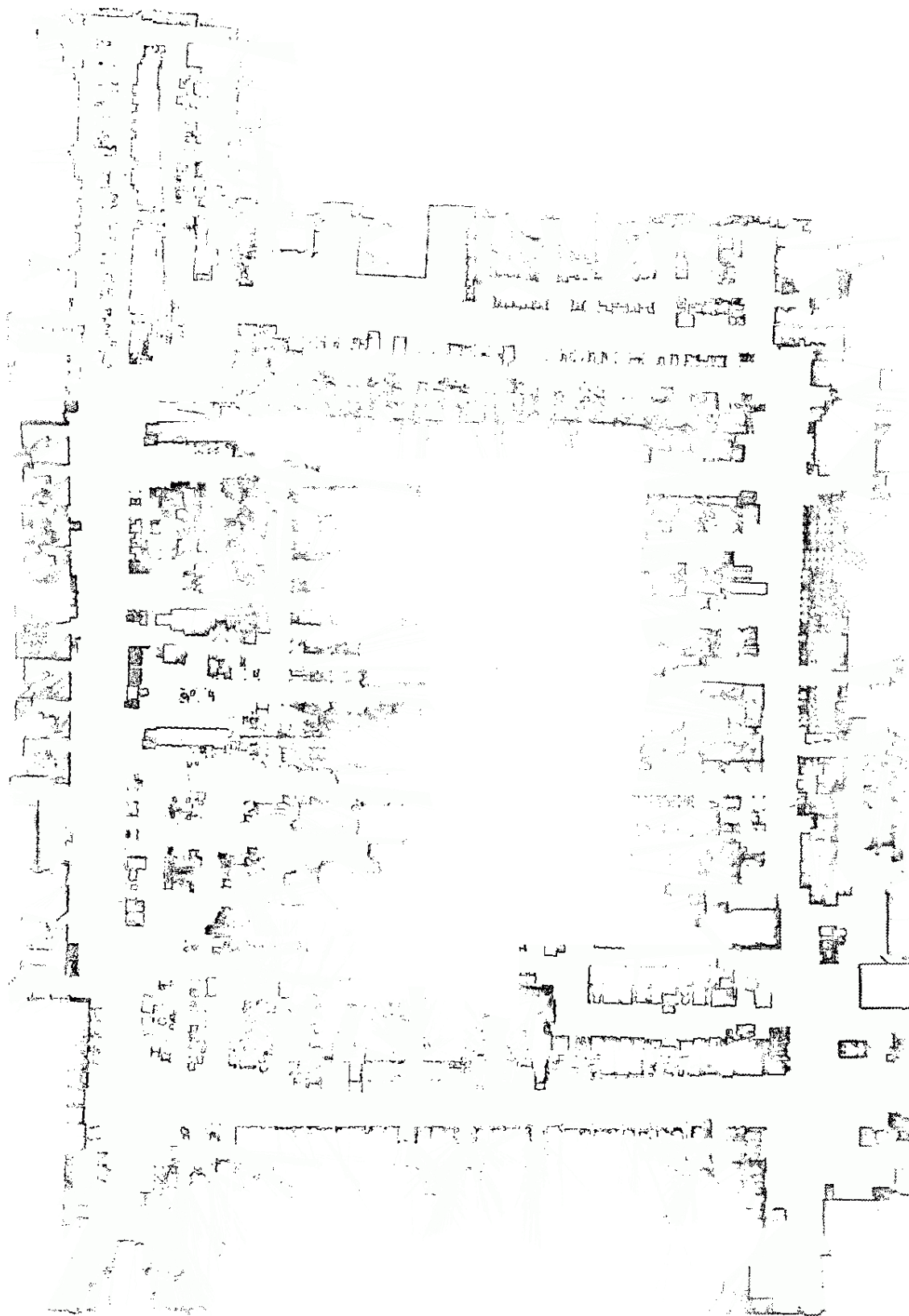
Kartoituksen jälkeen käytävien kartat yhdistettiin kolmannen osapuolen piirustusohjelmassa, mikä aiheutti ylimääräistä työtä. Muokattu kuva kartasta voidaan ladata robotin ohjelmistoon. Robotille osoitetaan kartasta paikka, jossa se suurin piirtein sijaitsee. Tämän jälkeen robotti skannaa ympäristönsä ja sijoittaa itsensä kartalle oikeaan kohtaan.



Kuva 7 MIR:llä skannattu kartta

Omron käyttää omaa MobilePlan-ohjelmistoa, jossa ohjelmointi ja kartoitus tapahtuu. Omronin kartoittaminen on hyvin samankaltaista kuin MiR:ssä. Robotin kanssa ajetaan haluttun alueen ympäri, jolloin se skannaa lasereillansa aluetta ja luo karttaan seinät ja esteet. Karttaa voidaan jälkikäteen siistiä ja muokata robotin omassa MobilePlan-ohjelmassa, jos karttaan on tullut jotain, mitä ei haluta siellä olevan. Tällaisia asioita voivat olla esimerkiksi ihmisten jälkiä tai laatikoita, jotka eivät sijaitse normaalisti alueella. Kartoituksen aikana robottia ohjataan joystickilla, joka on fyysisesti kiinni johdon päässä robotissa. Tällä varmistetaan, ettei yhteys robotin ohjattavuuteen katoa, kun sitä kartoitetaan aluetta. MiR:iin verrattuna tämä oli parempi ominaisuus, sillä MiR:n kartoituksen kanssa tuli ongelmia yhteyksien pätkimisen vuoksi. Kuvassa 6 näkyy Omronilla ajettu käsittelemätön kartta. Tämä

kartta oli riittävän todenmukainen, joten sitä ei tarvinnut muokata niin paljon kuin MiR:n tapauksessa. Vain yksittäisiä pisteitä jouduttiin poistamaan käsin.



Kuva 8 Omron LD käsittelemätön kartta

4.3.2 Liikkuvuus

Liikkuvuudessa tarkkailtiin robottien liikkeitä tehdasympäristössä. Testeissä kokeiltiin myös, kuinka hyvin robotti pysyy sille annetulla liikeradalla ja kuinka herkästi se menee paikkoihin, joihin se ei saa mennä. Tämä toteutettiin niin että robotille asetettiin esteitä esimerkiksi laatikoista tai roskiksista. Näin estettiin keinotekoisesti robotin kulku kohteeseensa, jolloin robotin oli pakko lähteä hakemaan uutta reittiä.

MiR:n kokeilussa huomattiin, että korjausliikkeet olivat useimmiten turhankin isoja. Robotti myös peruutti paljon ja pyöri paikoillaan. Näiden korjausliikkeiden vuoksi laite joutui useisiin jumiin esimerkiksi varastohyllyjen väliin tai niiden alle. Robotti näkee, että on liian ahtaassa tilassa ja ei pääse itse pois sieltä. MiR:n liikkeissä ei muuten ollut mitään valittamista ja sen liikkeet toimivat sulavasti kun reitti oli selkeä. Välillä kuitenkin robotti saattoi kadottaa itsensä kartalta tehtaan johtuvien ympärillä olevien häiriöiden takia. Tällaisia häiriöitä olivat esimerkiksi tehtaan olevat laitteet, jotka aiheuttivat häiriöitä yhteyksille tietoliikenneverkoissa robotin ja käyttäjäpäänteen välillä. Tämä tapahtui esimerkiksi erään laitteen kohdalla useamman kerran.

Omronin laitteella korjausliikkeitä tapahtui huomattavasti vähemmän. Tämä johtui siitä, että laite on suunniteltu niin ettei sen tarvitse peruuttaa, vaan robotti pystyy kääntymään paikallaan. Turha edestakaisin ajelu jää siis pois. Usein robotti kuitenkin pyörähti paikallaan myös saavuttaessaan kohteensa. Tämä johtui siitä, että robotti skannasi alueensa varmistuakseen kohteeseen pääsystä. Tästä päästiin eroon asentamalla magneettinauhoja lattiaan paikoituksen avuksi. Kokeilussa totesimme, että pyörähdysnopeus on liian suuri. Tämä saattaa johtaa siihen, että kevyemmät tavarat saattavat lentää kyydistä. Pyörähdysnopeutta voi säätää robotista ja pyörähdysten voi myös saada pois lisäämällä enemmän referenssipisteitä. Peruuttamistoiminnon puuttumisen takia robotti saattoi jäädä jumiin ahtaisiin tiloihin, eikä päässyt pois omin avuin.

Omron kulki hyvin sille määrätyillä alueilla. Kun robotti haluaa pisteestä A pisteeseen B, sillä on useita reittivaihtoehtoja. Se laskee jokaiselle reitille kertoimen ja valitsee niistä suotuisimman vaihtoehdon, eli suurimman kertoimen. Se saattoi kuitenkin usein oikaista alueilla, joissa sitä oli kielletty liikkumasta. Tämä tapahtui, kun kertoimet olivat tarpeeksi suuret kielletyllä alueella verrattuna muihin reitteihin. Alueiden kertoimia on mahdollista muuttaa robotin asetuksista.

Näiden liikkuvuus testien tuloksena voidaan todeta, että Omron LD liikkuu sulavammin elektroniikkatehtaan ympäristössä.

4.3.3 Turvallisuus

Turvallisuus on yksi tärkeimmistä asioista, mikä tulee ottaa huomioon robottia valitessa. Robotti tulee kuitenkin liikkumaan ihmisten ja trukkien seassa.

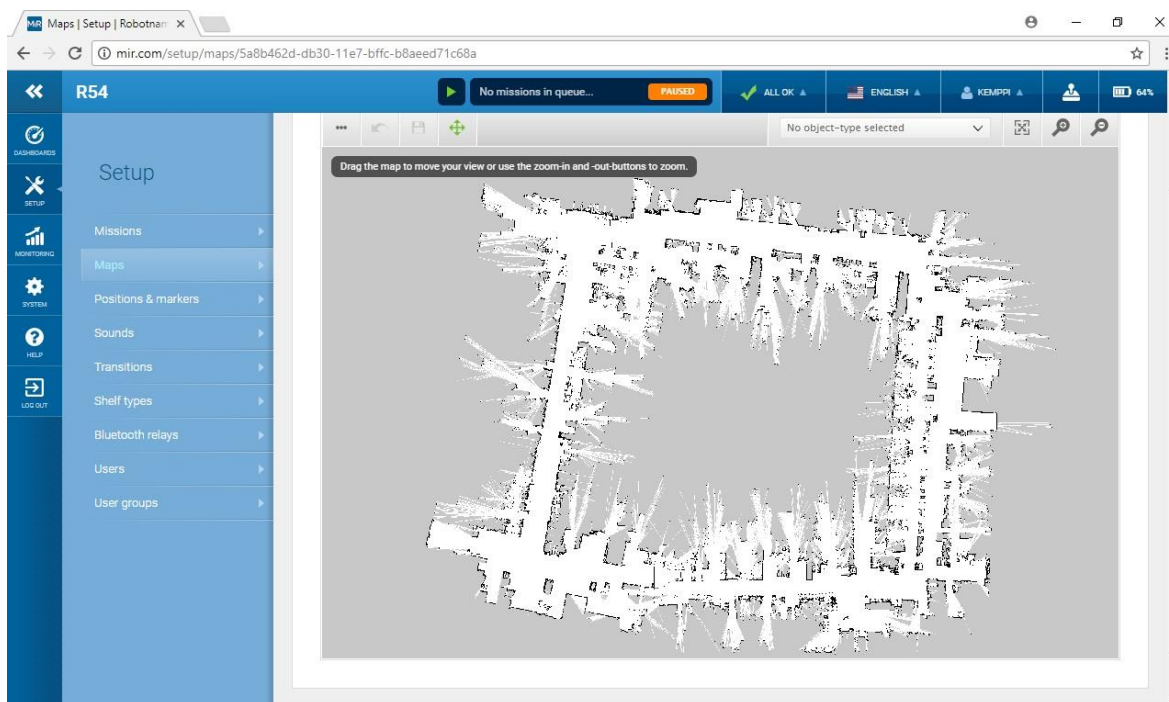
MiR liikkuu sulavasti, mutta ongelmia alkaa esiintyä, kun ajetaan pienempiin tiloihin. Robotti saattaa jäädä vain paikalleen ja odottaa, että henkilö väistää. Ongelma muodostui myös, kun henkilö lähestyy viistosti robotin eteen. Robotti ei kerkeä reagoimaan tilanteeseen ja saattaa ajaa henkilön päälle. MiR ei myöskään osaa väistää kohtisuoraan sitä päin tulevaa kohdetta. Toinen ongelma oli, että robotti ei näe trukin piikkejä, koska MiR:n turvaskannerit ovat liian alhaalla havaitakseen niitä korkeammalla olevia objekteja. Sama ongelma oli piirikorttien häkkialustojen kohdalla, joita elektroniikka tehtaalla on paljon. Piirikorttien häkkialustat ovat matalia nelirenkaisia alustoja, joihin kasataan päälle häkkejä, joissa kuljetetaan tehtaalla valmistettavia piirikortteja.

Omronin turvallisuudessa tehtiin samanlaisia havaintoja kuin MiR:n turvallisuudessa. Se ei osaa ennakoida viistosti lähestyvää kohdetta tai kohtisuoraan lähestyvää kohdetta. Omronilla on kuitenkin etuosassa mekaaninen turvapainike. Jos robotti törmää johonkin kohteeseen, painike menee pohjaan ja robotti pysähtyy, laittaen itsensä samalla hätäseis-tilaan. Omron näki trukin piikit ja piirikorttien häkkialustat.

Turvallisuusasioissa laitteet olivat muuten samankaltaiset, mutta Omron LD nousi selvästi yläpuolelle. Pääsyyinä Omronissa oleva painike, jota MiR:ssä ei ollut. Tämän lisäksi hyvänä puolena oli se, että Omron LD havaitsi myös trukin piikit ja häkkialustat.

4.3.4 Käyttöliittymä

MiR:n käyttöliittymä oli yksinkertainen ja selkeä käyttää. Robotin ohjelmointiin käytettiin tehtäväriville raahattavia tehtäväkomentoja. Nämä komennot sisälsivät käskyjä, joilla saatiin liikutettua robottia paikasta toiseen ja hoitamaan tehtävänsä. Kartalle luotiin pisteitä, eli niin sanottuja maaleja. Maali pisteitä pystyi määrittämään useita, joihin robotin pystyi ohjaamaan. MiR:n käyttöliittymän teki myös helposti lähestyttäväksi se, että sitä pystyi käyttämään kaikilla älylaitteilla, joissa on pääsy internet-selaimeen. Laite yhdistettiin MiR:n kanssa samaan verkkoon, jolloin sitä pystyi helposti ohjaamaan tarvittaessa useasta eri pisteestä. Kuvassa 7 on näkymä MiR:n käyttöliittymästä. Käyttöliittymässä voidaan luoda robotille tehtäväkomentoja ja maaleja, tarkkailla robotin tilaa ja tarkistaa, millä tehtävällä se milloinkin on menossa.

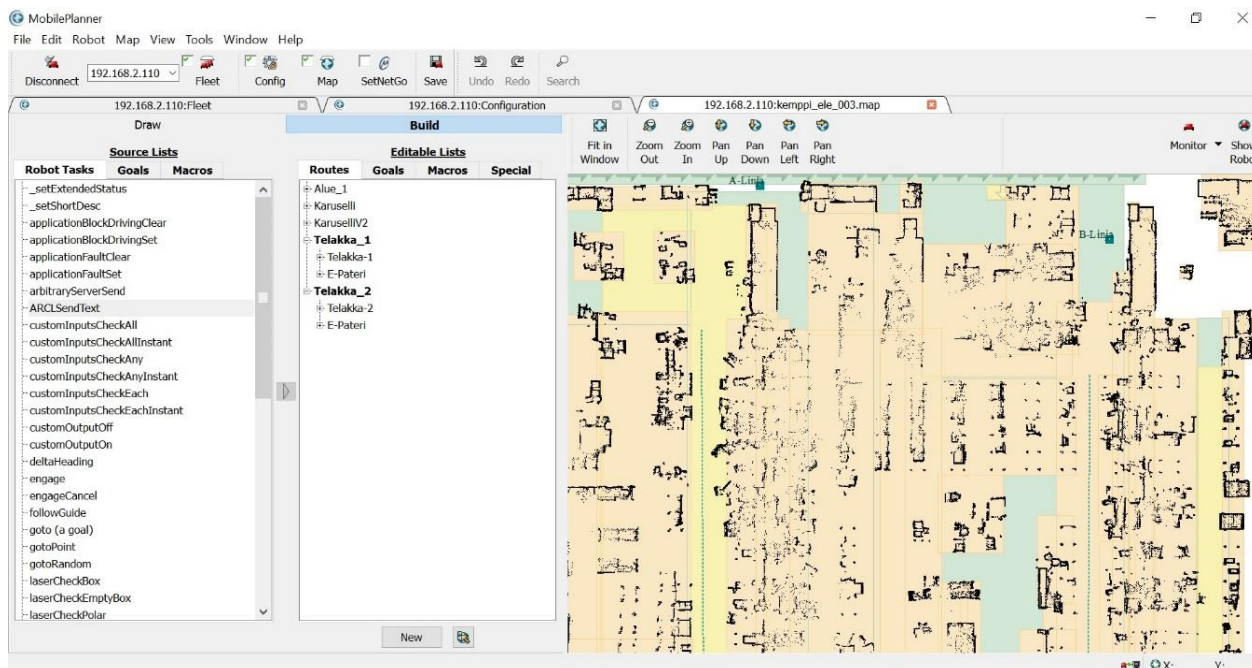


Kuva 9 MIR:n käyttöliittymä

Omronin käyttöliittymä on yksinkertainen ja avoin. Robotin ohjaus tehdään MobilePlanner-ohjelman kautta. Ohjelman saa ladattua Omronin sivuilta ilmaiseksi, mutta täysi toimivuus vaatii lisenssin. Robotin ohjelmoimisen opetteluun meni jonkin aikaa. Käskyfunktiot eivät olleet yhtä yksinkertaisia kuin MiR:ssä. Kun käskyt tulivat tutuksi, ohjelmoiminen oli helppoa. Robotilla oli paljon erilaisia funktioita, joita pystyttiin toteuttamaan. Kartalle luodaan pisteitä, joihin robotti voidaan ohjata komennoilla. Kartalle voidaan luoda myös erilaisia alueita, joihin voidaan kieltää robottia menemästä tai joissa voidaan nopeuttaa robotin kulkua.

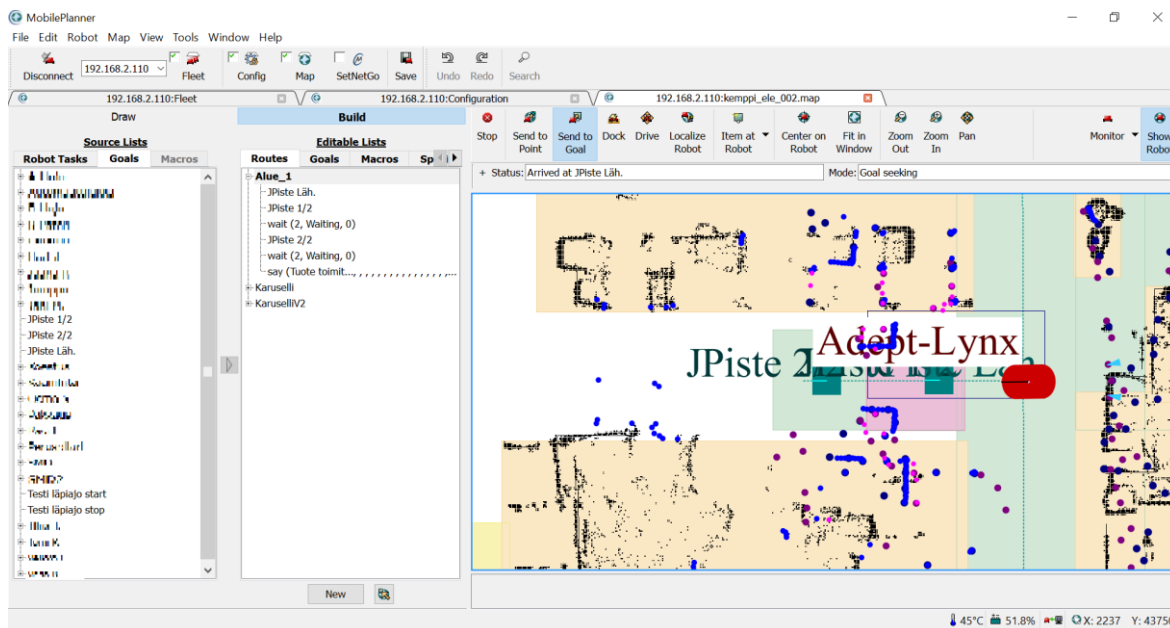
Kuvassa 9 näkyy kuva MobilePlanner-ohjelmasta, jossa ohjataan Omron LD:tä. Vasemmaisimmassa sarakkeessa näkyy erilaisia komentoja robotille. Seuraavassa sarakkeessa näkyy kuva reiteistä, joita robotin voi laittaa ajamaan. Oikealla näkyy kartta, jossa sijaitsee pisteitä ja alueita. Karttaa pystyy suurentamaan tai pienentämään. Show Robot -

painikkeella pystytään paikantamaan robotti kartalla, jos esimerkiksi karttaa on suurennettu muuhun kohtaan kuin missä robotti sijaitsee.



Kuva 9 Omronin käyttöliittymä

Kuvassa 10 näkyy esimerkki robotin ohjelmoimisesta. Robotille luodaan reitti eli "Route". Jokaisen reitin alle pystytään vetämään komentoja ja maaleja, jotka robotti sitten toteuttaa käskystä. Kuvassa 10 on kokeiltu robotin liikkuvuutta kielletyn alueen läpi reitti "Alue_1" avulla. Robotille on luotu kolme pistettä. Se lähtee pisteestä JPiste Läh, jonka jälkeen se ajaa seuraavaan pisteeseen, odottaa siinä kaksi sekuntia Wait-komennolla ja ajaa lopulta viimeiseen pisteeseen. Tämän jälkeen se odottaa kaksi sekuntia ennen kuin se ilmoittaa "Tuote toimitettu".



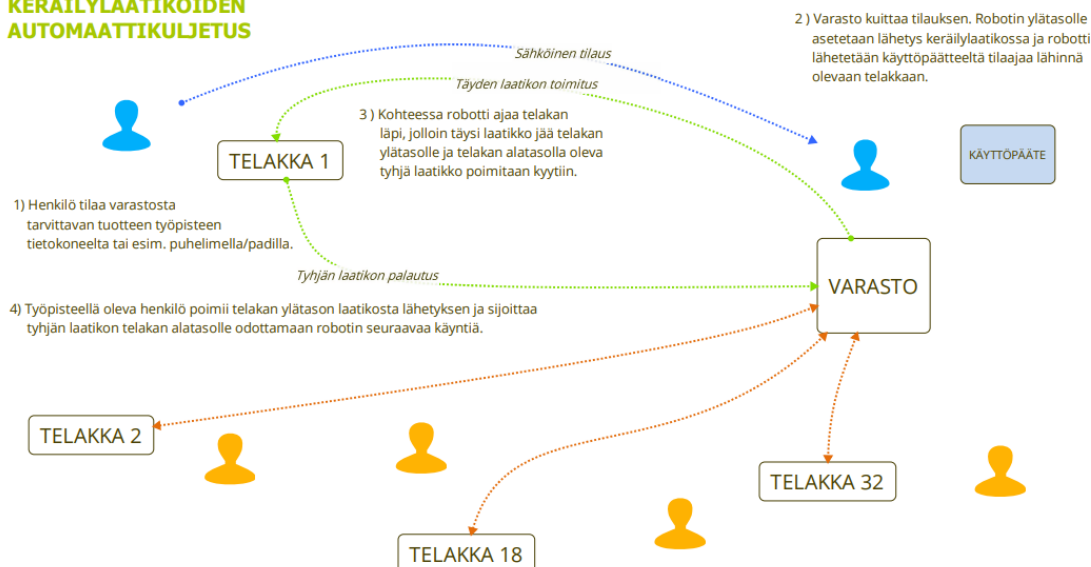
Kuva 10 Robotin ohjelmoiminen

5 KÄYTTÖÖNOTTO

5.1 Robotin käyttöönotto tuotantoon

Robotin käyttötarkoituksena on siirtää materiaalia varastosta työpisteille tai hyllyihin. Tämä tapahtuu niin, että pyyntö lähetetään tarvittavasta tavarasta varastolle, jolloin mobiilirobotti käy hakemassa kyseisen tavaran. Tämän jälkeen laite toimittaa tilatun tavaran pisteelle, josta se alun perin tilattiin. Tavara nostetaan paikalleen ja robotti jatkaa matkaansa seuraavalle tehtävälle. Jos robotti ei jostain syystä pääse kohteeseensa, se palaa takaisin varastoon ja käyttäjä käy tarkistamassa, minkä vuoksi robotti ei päässyt kohteeseensa. Robotin päätoiminen idea selviää kuviosta 1.

KEMPPI OY KERÄILYLAATIKOIDEN AUTOMAATTIKULJETUS



Pluscon Oy 23.2.2018

Kuvio 1 Omronin mobiilirobotin toimittajan kuvio robotin toiminnasta

Robotille tulee varata esteetön kulkutie, jossa se pääsee ajamaan kohteeseensa. Paikotuksessa robotin apuna tullaan käyttämään robotin sensorien lisäksi magneettinauhaa, joka kiinnitetään lattiaan. Robotti lukee magneettinauhaa, jonka avulla se pääsee noin yhden senttimetrin paikotustarkoituksiin. Näin se saadaan ohjattua tarkemmin kohteisiinsa kuin jos nauhaa ei käytettäisi.

5.2 Lisälaitteiden suunnittelu

Materiaalivirran sujuvuuden takaamiseksi mobiilirobotille suunniteltiin teline, johon se pysyy jättämään kuljettamansa materiaalin laatikkoineen. Vaatimuksina telineelle olivat kevyt rakenne ja helppo liikutettavuus. Toiveena oli myös, ettei teline tarvitsisi sähköä toimiakseen ja veisi mahdollisimman vähän tilaa. Näillä ominaisuuksilla materiaalin vastaanotto-
pisteitä voidaan siirtää tarpeen vaatiessa helposti ja nopeasti.



Kuva 11 Luonnos telineestä

Robotti jättää telineeseen halutun tavaran laatikossa ja ottaa tyhjennetyn laatikon kuljetukseen. Suunnitelma tehtiin SolidWorks -mallinsohjelmalla. Kuvan 11 mukaisesta suunnitelmasta saadaan kompaktin kokoinen teline, sillä se tarvitsee tilaa vain pituussuunnassa. Teline on hieman leveämpi kuin itse mobiilirobotti. Telineen perusidea on, että robotti ajaa siitä läpi, jättäen ylähyllylle kuljettamansa laatikon. Tämän jälkeen se poimii mukaansa laatikon, joka on jo aikaisemmasta lähetyksestä tyhjä. Telineestä pyrittiin saamaan mahdollisimman yksinkertainen niin ettei siihen tarvitse ollenkaan sähköä, vaan virhetilanteet ratkaistaan mobiilirobotissa. Mahdollisia virhetilanteita voi tulla esimerkiksi silloin, kun robotti ei jostain syystä pääse ajamaan kohteeseensa. Toinen virhetilanne on mahdollinen, jos käyttäjä on unohtanut siirtää laatikon ylähyllyltä alahyllylle. Tämä

ratkaistiin laittamalla mekaaninen anturi robotin kyydissä olevaan telineeseen. Jos anturi ottaa kiinni johonkin kiinteään, se pysäyttää itsensä laittamalla hätäseis-tilan päälle. Käyttäjän pitää käydä tämän jälkeen hakemassa robotti ja kuittaamassa sen pois hätäseis-tilasta. Kuvan 11 luonnos on alustava. Lopullisen suunnitelman ja telineen toteuttaa ja toimittaa mobiilirobotin toimittaja. Kuvassa 12 on kuva valmiista telineestä, joka on kasattu Kempin omalla verstaalla alumiiniprofiilista.



Kuva 12 Valmis teline

6 YHTEENVETO

Opinnäytetyön aiheena oli testata ja verrata kahden eri valmistajan mobiilirobotteja Kempin elektroniikkatehtaan käyttöön. Mobiilirobotin on tarkoitus tulla helpottamaan sisäistä materiaalivirtaa ja tehostamaan tuotantotehokkuutta vapauttamalla työntekijät materiaalin hakutehtävistä. Molempien vertailussa mukana olleiden robottien testaus suoritettiin noin kahden viikon mittaisen kokeilujakson aikana, jossa kummallekin robotille oli varattu viikko aikaa testaukseen. Lopuksi valitun robotin osalla mietittiin, miten se olisi mahdollista ottaa käyttöön elektroniikkatehtaan ympäristöön käytännössä.

Testeissä käytiin läpi mobiilirobottien soveltuvuus erilaisten kokeilujen avulla. Nämä kokeilut olivat robotin käytettävyys, liikkuvuus ja turvallisuus.

Käytettävyydessä kokeiltiin mobiilirobotin kartoittamista ja käyttöliittymän käytettävyyttä. Molemmilla roboteilla kartoitus tapahtui pitkälti samankaltaisesti. Roboteilla ajettiin alue, jossa niitä haluttiin käyttää ja näin saatiin aikaiseksi kartta, jota robotti käyttää suunnistessaan ympäristössä. Molemmat robotit käyttävät lasereita hyväkseen lukemalla ympäristöään ja vertaamalla arvoja karttaan, jolloin ne tietävät missä ne liikkuvat milläkin hetkellä.

Liikkumisessa ja turvallisuudessa testattiin, miten robotti reagoi ympäristöönsä ja kuinka sulavasti se saavutti kohteensa ilman kummempia vaikeuksia. Turvallisuuden osalta Omron LD oli parempi, sillä sen edessä sijaitsi painike, joka pysäyttää robotin törmäystilanteessa.

Näiden testien ja käytettävyyden perusteella Omronin LD valikoitui soveltuvammaksi Kempin elektroniikkatehtaan ympäristöön. Se toimi useimmissa tapauksissa luotettavammin.

Valinnan jälkeen suunniteltiin, miten mobiilirobotti pystyttäisiin ottamaan käyttöön ilman kalliita lisäinvestointeja ja muuttamatta elektroniikkatehtaan pohjaa suuresti. Tässä päädyttiin telineeseen, johon robotti pystyy jättämään ja hakemaan laatikoita. Telineen haluttiin olevan mahdollisimman kevyt ja vähän tilaa vievä, sekä haluttiin ettei se tarvitse sähköä toimiakseen. Teline suunniteltiin jo olemassa olevien elektroniikkatehtaalla olevien laatikoiden mukaan. Näin säästyttiin uusien laatikoiden hankkimiselta.

LÄHTEET

Kemppi 2020a. Globaalisti lähellä [viitattu 22.3.2020]. Kemppi Oy. Saatavissa:

<https://www.kemppi.com/fi-FI/yritys/get-to-know-us/globaalisti-paikallinen/>

Kemppi 2020b. X8-MIG Welder [viitattu 22.3.2020]. Kemppi Oy. Saatavissa:

<https://www.kemppi.com/fi-FI/tuotteet/family/x8-mig-welder/>

Llopis-Albert 2019. A review of mobile robots: Concepts, methods, theoretical framework, and applications [Viitattu 26.4.2020]. International Journal of Advanced Robotic Systems.

Saatavissa: <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/1729881419839596>

MiR 2020a. MiR100 [Viitattu 23.3.2020]. Saatavissa: <https://www.mobile-industrial-robots.com/en/solutions/robots/mir100/>

MiR 2020b. MiR Specifications [viitattu 9.3.2020]. MiR. Saatavissa: https://www.mobile-industrial-robots.com/media/7606/mir100_specifications.pdf

MiR 2020c. Optimize your workflows with the mobile robots from MiR [Viitattu 14.4.2020].

MiR Saatavissa: <https://www.mobile-industrial-robots.com/en/solutions/robots/>

MiR 2020d. MiR Hook 100 TM [Viitattu 26.3.2020]. MiR. Saatavissa: <https://www.mobile-industrial-robots.com/en/solutions/robots/mir-top-modules/mir-hook-100-tm/>

MiR 2020e. MiR Fleet [Viitattu 26.3.2020]. MiR. Saatavissa: <https://www.mobile-industrial-robots.com/en/solutions/robots/mir-accessories/mir-fleet/>

MiR 2020f. MiR1000 [Viitattu 19.4.2020]. MiR. Saatavissa: <https://www.mobile-industrial-robots.com/en/solutions/robots/mir1000/>

Mobile Industrial Robots 2016. Guidelines for mapping the MiR100.

Nasa 2019. Mobility & Robotics [viitattu 20.11.2019]. Nasa. Saatavissa: <https://scienceandtechnology.jpl.nasa.gov/research/research-topics-list/spacecraft-technologies/mobility-robotics>

Oodi 2019. Oodin robotit auttavat työn tekemisessä [viitattu 20.11.2019]. Oodi. Saatavissa: <https://www.oodihelsinki.fi/oodin-robotit-auttavat-tyon-tekemisessa/>

Omron 2020a. LD Platform OEM [viitattu 10.3.2020]. Omron. Saatavissa: https://assets.omron.eu/downloads/manual/en/v6/mobile_robot_-_ld_platform_users_manual_en.pdf

Omron 2020b. Mobile Robots LD Series [viitattu 26.2.2020]. Omron. Saatavissa: https://assets.omron.eu/downloads/datasheet/en/v3/i828_ld-series_mobile_robot_datasheet_en.pdf

Omron 2020c. Kuvat Omronin LD ja kärryistä [viitattu 10.3.2020]. Saatavissa. <https://industrial.omron.fi/fi/products/ld-60-90#models>

Sabell 2020. What is the Difference Between the Logistics Industry and transportation? [viitattu 22.3.2020]. The College for adult learning. Saatavissa: <https://collegeforadultlearning.edu.au/logistics-industry-and-transportation/>