

Opinnäytetyö (AMK)

Konetekniikan koulutus

2023

Oras Siitarinen

Mobiilirobottien (AMR) implementointi ja käyttöönotto tuotannossa

Opinnäytetyö (AMK) | Tiivistelmä

Turun ammattikorkeakoulu

Konetekniikan koulutus

2023 | 103 sivua, 14 liitettä

Oras Siitarinen

Mobiilirobottien (AMR) implementointi ja käyttöönotto tuotannossa

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi Valmet Automotive EV Power Oy. Työ suoritettiin osana Salon akkutehtaan projektia sarjatuotantolinjan automatisoimiseksi. Akkutehtaan tuotannon automatisoimiseksi oli aikaisemmin valittu Mobile Industrial Robots mobiilirobotit.

Mobiiliroboteilla on toteutettu erilaisia kuljetusprosesseja Valmet Automotive EV Power Oy:llä ennen tätä opinnäytetyötä. Tässä opinnäytetyössä automatisoitiin neljän suuren tuotanto-osan materiaalivirta varaston ja tuotannon välillä käyttämättömillä mobiiliroboteilla virran vakauden parantamiseksi.

Opinnäytetyössä keskitytään mobiilirobottien ohjaukseen ja toimintaan. Materiaalikuljetusten automatisoinnille keskeistä on robottivalmistajan Fleet-ohjelmiston käyttäminen. Ohjelmistolla määritettiin roboteille kulkureitit, liikenne- ja turvallisuusohjeistukset sekä suoritettavat materiaalikuljestehtävät.

Lopputulokseksi saatiin toimiva ja aikaa säästävä ratkaisu, joka otettiin käyttöön tuotannossa. Kaikki suunnitellut neljän ison osan kuljetukset automatisoitiin ja aikakriittisten osien toimitus verrattuna aikaisempiin prosesseihin puolittui. Opinnäytetyön seurauksena mobiilirobotiikan käytön laajentamista ryhdyttiin suunnittelemaan myös muiden prosessien automatisoimiseksi.

Asiasanat:

mobiilirobotti, automaatio, materiaalikuljetus, reititys, ohjelmisto, tehtäväsuunnittelu, liikenne

Bachelor's Thesis | Abstract

Turku University of Applied Sciences

Mechanical Engineering

2023 | 103 pages, 14 appendices

Oras Siitarinen

Implementation and deployment of mobile robots (AMR) in production

This thesis was commissioned by Valmet Automotive EV Power Oy. The work was carried out as part of a project at the Salo battery factory to automate a series production line. Mobile Industrial Robots had previously been chosen as the supplier of the mobile robots to automate the production of the factory.

Mobile robots have been used in various transport processes at the Valmet Automotive EV Power Oy prior to this thesis. In this thesis, the material flow of four large production parts between warehouse and production was automated with unused mobile robots to improve the stability of the flow.

This thesis focuses on the control and operation of mobile robots. The use of the robot manufacturer's Fleet software is central to the automation of material handling. The software was used to define routes, traffic and safety instructions for the robots and the material transport missions used in the transportations.

The end result was a functional and time-saving solution which was then implemented in production. All of the four planned large part transportations were automated and the delivery of time-critical parts was halved compared to previous processes. As a result of this thesis, plans were made to extend the use of mobile robots to automate other processes in production.

Keywords:

mobile robot, automation, material transport, routing, software, mission planning, traffic

Sisältö

Käytetyt lyhenteet tai sanasto	10
1 Johdanto	11
2 Valmet Automotive	13
2.1 Valmet Automotive EV Power Oy	13
2.2 Salon akkutehdas	14
3 Mobiilirobotit	15
3.1 Automated Guided Vehicle	16
3.2 Autonomous Mobile Robot	17
3.3 Fleet	18
4 Mobile Industrial Robots	20
4.1 Yhtiö	20
4.2 MiR mobiilirobotit	20
4.2.1 Robottimallit	21
5 Lähtökohdat	23
5.1 Osakuljetus	23
5.1.1 Kuljetettavat isot osat	23
5.1.2 Materiaalikärryt	27
5.2 Robotit	29
5.3 Ympäristö ja turvallisuus	31
5.4 Tavoitteet, suoritukset	32
5.5 Alueet, sijainnit ja reitit	34
6 Tehtäväsuunnittelu	38
6.1 MiR Fleet tehtävien rakenne	38
6.1.1 Alitehtävät	41
6.2 Tehtävien muodostaminen	41
6.2.1 Muuttajat	43
6.3 Materiaalikuljetustehtävät	43

6.3.1 Osa A:n kuljetustehtävä	44
6.3.2 Välitila-alitehtävä	46
6.3.3 Tyhjän kärryn vientilogiikan parantaminen	48
7 Reittisuunnittelu	52
7.1 Fleet reitityksen toiminta	52
7.2 Reititysten ja alueiden tekeminen	54
7.3 Merkkien luominen	57
7.4 Path Guides	59
7.5 Materiaalikuljetusten reititys	62
7.5.1 Varaston ja välitilan reititys	63
7.5.2 Osa A ja D materiaalikuljetusreitti	71
7.5.3 Osa B materiaalikuljetusreitti	73
7.5.4 Osa C materiaalikuljetusreitti	76
7.5.5 Osien kuljetusten path guidet	78
8 Testaus, kehittäminen ja laajentaminen	81
8.1 Osa A:n kuljetuksen testaus	81
8.2 Tehtävien ja reitityksien kehitys	84
8.3 Kehitetyn osa A kuljetuksen testaus	91
8.4 Tehtävien laajentaminen osille B, C ja D	94
8.5 Osien B, C ja D testaus	94
9 Loppuyhteenveto	99
9.1 Päätelmät ja tulokset	99
9.2 Sovellus tulevaisuudessa	101
Lähteet	102

Liitteet

Liite 1. Alkuperäinen suunnitelma robottikuljetuksen reititykselle.

Liite 2. Paranneltu uusi suunnitelma robottikuljetuksen reititykselle.

Liite 3. Fleet kartoituksen alkutilanne.

- Liite 4. Fleet kartoitus varaston ja isojen osien reitityksellä.
- Liite 5. Fleet kartoitukseen lisätyt ajopisteet path guideja varten.
- Liite 6. Fleet kartoitus osien A ja D kaksisuuntaisella reitityksellä.
- Liite 7. Lopullinen Fleet kartoitus.
- Liite 8. Osien A ja D yksisuuntaisen kuljetuksen path guide tuotantoon.
- Liite 9. Osien A ja D kaksisuuntaisen kuljetuksen path guide tuotantoon.
- Liite 10. Osien A ja D path guide varastoon.
- Liite 11. Osa B path guide tuotantoon.
- Liite 12. Osa B path guide varastoon.
- Liite 13. Osa C path guide tuotantoon.
- Liite 14. Osa C path guide varastoon.

Kuvat

Kuva 1. Salon akkutehtaan tuotannon ja varaston yksinkertaistettu pohjapiirros.	14
Kuva 2. MiR mobiilirobottimallit suurimmasta pienimpään (Automation 2019).	22
Kuva 3. Osien A, B, C ja D yksinkertaistetut 3D-mallit.	25
Kuva 4. Osien materiaalikärryjen yksinkertaistetut mallit järjestyksessä osa A, B, C ja D.	28
Kuva 5. Kiinnitysprofiilien yksinkertaistettu 3D-malli.	29
Kuva 6. Mobiilirobotin päällä oleva kiinnitysmoduuli perustilassa.	30
Kuva 7. Mobiilirobotin kiinnitysmoduuli, kun siivekkeet ovat auki.	31
Kuva 8. Varaston robottialue ja välitilat.	35
Kuva 9. Osien A, B, C ja D työasemien läheiset paikat.	36
Kuva 10. Esimerkki yksinkertaisesta tehtävärakenteesta.	39
Kuva 11. Peruskomentokategoriat.	39
Kuva 12. Logic peruskomentojen pudotusvalikko.	40
Kuva 13. Esimerkki if-komennosta.	41
Kuva 14. Esimerkki tehtävämoduulin muokkauskentästä.	42
Kuva 15. Osa A tehtävän alkutilanne.	45
Kuva 16. Välitila-alitehtävän valmis rakenne.	47

Kuva 17. Välitila-alitehtävä lisätty Osa A kuljetustehtävään.	48
Kuva 18. Try/Catch tehtävämoduulin esimerkkipohja.	49
Kuva 19. Tyhjän karryn palautusta parantava Try/Catch tehtävämoduuli.	50
Kuva 20. Osa A kuljetustehtävän valmis ensiversio.	51
Kuva 21. Karttasovelluksen työkalupalkki.	55
Kuva 22. Esimerkkikuva eri alueiden työkalupalkeista.	55
Kuva 23. Esimerkki viivamaisen reitin luomisesta.	56
Kuva 24. Esimerkki monimuotoisen alueen luomisesta.	57
Kuva 25. Esimerkki positions merkin luomisesta.	58
Kuva 26. Esimerkki positions merkkien asetuksista.	58
Kuva 27. Opinnäytetyössä käytettyjen positions merkkien visuaalinen ero.	59
Kuva 28. Path guiden luomisen alkutilanne.	60
Kuva 29. Esimerkki path guiden pistevalikosta.	61
Kuva 30. Esimerkki path guide pisteen hyväksymisestä.	61
Kuva 31. Path guide esimerkki.	62
Kuva 32. Varaston ja välitilan lähtötilanne.	63
Kuva 33. Varastoon luodut karrujen noutopaikat.	64
Kuva 34. Varaston reititys.	65
Kuva 35. Välitilan reititys.	66
Kuva 36. Välitilan I/O-module zonet.	67
Kuva 37. Välitilan speed alueet.	68
Kuva 38. Välitilan critical zone alueet.	69
Kuva 39. Välitilan planner zone.	70
Kuva 40. Välitilan limit-robots-zone.	70
Kuva 41. Osien A ja D vientipaikat tuotannossa.	71
Kuva 42. Osien A ja D vientipaikkojen käännökset.	72
Kuva 43. Osien A ja D vientipaikkojen Fleet alueet.	73
Kuva 44. Osa B vientipaikka ja käännös.	74
Kuva 45. Osa B alueen turvaaminen Fleet alueilla.	75
Kuva 46. Varaston ja tuotannon välisen risteuksen reititys.	76
Kuva 47. Osa C:n vientipaikka ja käännös.	77
Kuva 48. Osa C:n vientipaikan Fleet kartoitus.	78

Kuva 49. Päivitetty materiaalivirran suunnitelma osille A ja D.	84
Kuva 50. Osa A:n kärrypaikat tuotannossa.	85
Kuva 51. Osa B:n kärrypaikat tuotannossa.	85
Kuva 52. Osa B:n kärrypaikkojen paranneltu reititys.	86
Kuva 53. Osien A ja D paranneltu reititys.	87
Kuva 54. Paranneltu kartoitus osien A ja D alueelle sekä näille johtavaan käännökseen.	88
Kuva 55. Osa A:n lopullinen tehtäväversio.	90
Kuva 56. Lopullinen turvallisemmaksi paranneltu varaston ja tuotannon risteys.	93
Kuva 57. Osa B kuljetuksen paluureitin lopullinen kartoitus.	97
Kuva 58. Lopullinen varaston kartoitus.	98
Kuva 59. Alkuperäinen reitityssuunnitelma isoille osille.	104
Kuva 60. Uusi reitityssuunnitelma isoille osille osien A ja D suuntamuutoksella.	105
Kuva 61. Fleet kartoituksen aikaisemmat reitit ennen tehtyjä lisäyksiä.	106
Kuva 62. Varaston, välitilan ja isojen osien reititys sekä Fleet alueet.	107
Kuva 63. Ajopisteet isojen osien path guide:jen luomiseen.	108
Kuva 64. Osien A ja D kaksisuuntainen kuljetus ja lisätyt Fleet alueet.	109
Kuva 65. Implementoitu Fleet kartoitus isojen osien kuljetukselle.	110
Kuva 66. Osien A ja D ensimmäinen tuotantoon vievä path guide.	111
Kuva 67. Osien A ja D paranneltu tuotantoon vievä path guide.	112
Kuva 68. Osien A ja D varastoon vievä path guide.	113
Kuva 69. Osa B:n tuotantoon vievä path guide.	114
Kuva 70. Osa B:n varastoon vievä path guide.	115
Kuva 71. Osa C:n tuotantoon vievä path guide.	116
Kuva 72. Osa C:n varastoon vievä path guide.	117

Kuviot

Kuvio 1. Kuljetettavien osien lukumäärän vertailu.	26
Kuvio 2. Yhden työvuoron kuljetusten suhde osille A, B, C ja D.	27

Kuvio 3. Osa A:n robottikuljetuksen siirtoajan tulos.	82
Kuvio 4. Osa A:n lopullisen robottikuljetuksen tulos.	92
Kuvio 5. Osa B:n robottikuljetuksen tulos.	96

Taulukot

Taulukko 1. MiR mobiilirobottimallien vertailu (Mobile Industrial Robots: Robots 2023).	22
Taulukko 2. Isojen osien nimeäminen ja kuvailu.	24
Taulukko 3. Fleet kartoituksen alue- ja reititysvaihtoehdot ja selitykset (Mobile Industrial Robots 2021).	53
Taulukko 4. Planner zone alueiden asetukset ja selitykset (Mobile Industrial Robots 2021).	54
Taulukko 5. Opinnäytetyössä käytettävät merkkityypit ja selitykset (Mobile Industrial Robots 2021).	59
Taulukko 6. Yhteenveto lopullisista kuljetustuloksista.	100

Käytetyt lyhenteet tai sanasto

AGV	Autonomous Guided Vehicle
AMR	Autonomous Mobile Robot
EV	Electric Vehicle
EVS	Electric Vehicle Systems
Fleet	Järjestelmä, jolla yhdistetään mobiilirobotit ja näiden toiminta
Footprint	Mobiilirobotin digitaalinen jalanjälki, eli tämän havainto omasta koostaan
MiR	Mobile Industrial Robots
Path guide	Kartoituksessa käytettävä reitityksen ohjeistus
PLC	Programmable Logic Controller
RKS	Roof and Kinematic Systems
VA	Valmet Automotive
VCM	Vehicle Contract Manufacturing

1 Johdanto

Opinnäytetyö tehtiin Valmet Automotive EV Power Oy:lle, jolla oli projektina Salon akkutehtaalla automatisoida tuotantolinjan toiminta ja tämän materiaalivirta. Tässä opinnäytetyössä keskityttiin tuotantoon kuljetettavien isojen akun rakenneosien materiaalivirran automatisointiin mobiiliroboteilla. Tuotantolinja oli suunniteltu automatisoitavaksi jo tämän rakennusvaiheessa, joten tarvittavat edellytykset tämän toteutumiseksi olivat valmiina opinnäytetyön aloituksessa. Tuotantolinjalla oli jo aikaisemmin hyödynnetty mobiilirobotiikkaa erilaisissa kuljetusprosesseissa, joten näiden kulkureittejä voitiin hyödyntää opinnäytetyössä.

Implementoitavat robotit olivat Mobile Industrial Robots:in mobiilirobotit. Robotit olivat jo akkutehtaalla, mutta näitä ei oltu vielä otettu käyttöön automatisoinnissa. Osien kuljetuksen implementoimiseksi luotiin MiR Fleet-järjestelmällä mobiiliroboteille osien kuljetustehtävät, kuljetusreitit sekä toimintaa varmistavat kartta-alueet. Opinnäytetyössä perehdyttiin MiR Fleet-järjestelmän toimintaan ja automatisoinnin suunnitteluun.

Materiaalivirtauksen automatisointi toteutettiin yksi kuljetus kerrallaan. Tehtävät ja reitit luotiin ensimmäisen kuljetuksen pohjalta ja nämä sovellettiin seuraaviin osakuljetuksiin sopiviksi.

Opinnäytetyön aihe valittiin toimeksiantajan projektiakataulun perustella ja mahdollisuudella työskennellä uuden teknologian parissa. Mobiilirobotiikka ja tämän hyödyntäminen on ajankohtainen aihe, joka tarjoaa mahdollisuuksia tulevaisuuden prosessien automatisointiin ja erilaisille sovelluksille.

Opinnäytetyön aiheen aikataulu sopi erinomaisesti Valmet Automotiven kanssa, sillä materiaalivirran automatisointi oli tärkeä seuraava vaihe koko tuotantolinjan automatisoinnin kannalta.

Mobiilirobotiikkaa on kehitetty 50-luvulta asti, joten tästä löytyy kattavasti tutkimus- ja aineistomateriaalia. Opinnäytetyössä käytetyt lähdeaineistot kertovat mobiilirobotiikan teknologiasta ja kehityksestä. Aineistoissa perusteltiin

mobiilirobotiikkaa määrittelevät teknologiset kategoriat, joita verrattiin opinnäytetyössä käytettäviin mobiilirobotteihin ja näiden toimintaan. Fleet-järjestelmä on mobiilirobottien hallinnointiin kehitetty sovellus, johon lähdeaineistossa myös paneudutaan. MiR Fleet on valmistajan oma Fleet-järjestelmä, eikä tämä opinnäytetyön kirjoitushetkellä vielä täysin toteuta lähdeaineistossa esitettyä VDA5050-standardia.

Opinnäytetyön tavoitteena oli automatisoida kaikkien esitettävien isojen osien materiaalikuljetus. Osat jaettiin kahteen luokkaan, aikakriittisiin ja ei-kriittisiin osiin. Aikakriittisille osille oli aikataivoitteet, joihin robottikuljetusten tuli päästä. Kuljetusaikojen aikakriittisille osille verrattiin tavoiteaikaan sekä aikaisemmin suoritettua manuaalisen kuljetuksen kuljetusaikaan. Osille luotiin tehtävät ja reitit ennen testiajanjaksoja. Testiajanjaksoista saatiin osien kuljetusajat. Opinnäytetyössä oletettiin, että mobiilirobottiratkaisulla saadaan kuljetukset tehtyä tavoiteajoissa ja mahdollisesti manuaalista kuljetustakin nopeammin. Ratkaisulla kevennettäisiin työntekijöiden työtaakkaa ja vähennettäisiin riskiä osien viivästymiselle, jolloin tuotannolliset viivästyksiset vähentyisivät.

Opinnäytetyön rakenne esittää tehtävä- reittisuunnittelun omina osa-alueinaan. Osa-alueet kertovat näiden toiminnasta ja oleellisten ratkaisujen luomisesta. Tehtävä- ja reittisuunnittelussa luodaan ensimmäisen osan kuljetus, joka myöhemmin laajennetaan jokaiselle osalle. Osien kuljetukset testataan tuotannossa ja näistä saatuihin havaintoihin reagoidaan. Muutosten jälkeen suoritetaan uudet testit, joiden jälkeen osakuljetukset voidaan käyttöönottaa tuotannossa.

2 Valmet Automotive

Vuonna 1968 Uuteenkaupunkiin perustettu Valmet Automotive (VA) on kansainvälinen autoteollisuuden palveluntarjoaja. VA on maailmanlaajuisesti yksi suurimmista sopimusautovalmistajista usealle johtavalle laitevalmistajalle, kuten Mercedes-Benz, Saab ja Porsche. (Valmet Automotive: Yritys 2023.)

Valmet Automotive alkoi valmistamaan täyssähköautoja vuonna 2009 ja laajensi toimintaansa rakennuttamalla yrityksen ensimmäiset sähköautojen akkutehtaat sekä Uuteenkaupunkiin että Saloon vuonna 2019.

Yhtiö koostuu kokonaisuudessaan kolmesta liiketoimintalinjasta. Vehicle Contract Manufacturing (VCM) toimii ajoneuvojen sopimusvalmistuslinjana, Roof and Kinematic Systems (RKS) keskittyy kinemaattisten ratkaisujen toimittamiseen ja Electric Vehicle Systems (EVS) toimittaa sähköisten ajoneuvojen akkujärjestelmiä.

2.1 Valmet Automotive EV Power Oy

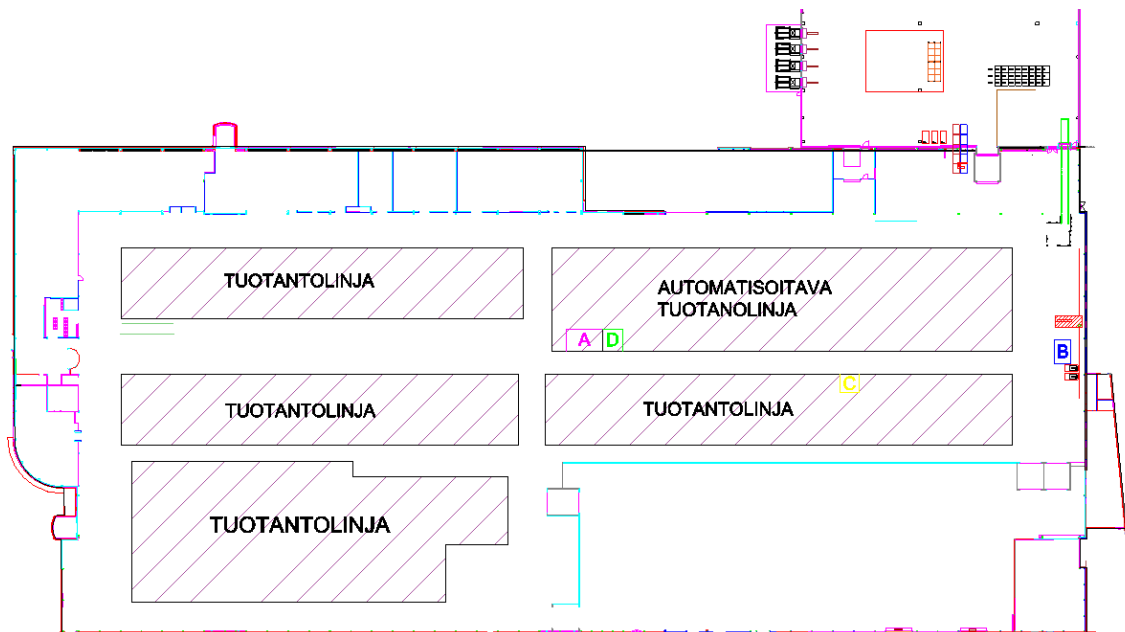
Valmet Automotive EV Power Oy perustettiin vuonna 2018 keskittymään ajoneuvojen sähköisten ratkaisujen suunnitteluun ja valmistamiseen EVS liiketoimintalinjan johtoasemassa. Sähköisten ratkaisujen tytäryritys aloitti toimintansa Uudessakaupungissa. EV Power Oy:n liiketoiminta laajeni täältä nopeasti Salon kaupunkiin, sekä Saksaan.

Yrityksen toimialana ovat akut ja paristot. EV Power Oy keskittyy suunnittelemaan ja rakennuttamaan akkutuotantolinjoja sopimusasiakkailleensa. Teknologian kehityksen tasalla pysyminen on yksi yrityksen avaintavoitteista.

2.2 Salon akkutehdas

Nokian entisissä tuotantotiloissa 2019 käynnistynyt Salon akkutehdas suunnittelee, testaa ja kokoonpanee uusia akkujärjestelmiä sähköisiin ajoneuvoihin (Heippafossiilit: Mitä teemme 2023).

Akkupaketit ja -ratkaisut valmistetaan akkutehtaalla suursarjatuotannossa (Heippafossiilit: Mitä teemme 2023). Salon akkutehtaan tuotantotiloihin on perustettu usea tuotantolinja eri tuotteille ja näiden välisiä tiloja käytetään tuotannossa materiaalikuljetukseen sekä yleiseen liikenteeseen. Kuvassa 1 nähdään yleisestä tuotantotilasta ja osasta varaston alueesta luotu yksinkertaistettu pohjapiirustus.



Kuva 1. Salon akkutehtaan tuotannon ja varaston yksinkertaistettu pohjapiirros.

Salon akkutehtaan tuotantolinjoja on puoli- sekä täysiautomaattisia. Tässä työssä automatisoitava tuotantolinja (kuva 1 oikean yläkulman linja) on toteutettu manuaalisilla työvaiheilla, mutta suuri osa valmistuksesta tapahtuu automatisoidusti. Kyseinen tuotantolinja on VA:n toistaiseksi ensimmäinen ja ainoa, minkä materiaalikuljetusta ollaan myös automatisoimassa.

3 Mobiilirobotit

Mobiilirobotit ovat uusi ja kasvava tekniikan ala, jonka laajentuminen tuotannon automatisoinnissa on lisääntynyt huomattavasti viime vuosien aikana ympäri maailmaa.

Roboteista tavallisesti puhuttaessa viitataan kiinteisiin, pultattuihin tuotantorobotteihin. Tämän kaltaisilla nivelroboteilla on totuttu automatisoimaan ja toteuttamaan robotisoituja ratkaisuja. Mobiilirobotti eroaa tavallisesta robotista tämän liikkuvuuden ansiosta. Mobiilirobotit ovat sijainnissaan joustavia ja pystyvät liikkumaan suuriakin välimatkoja, eikä näitä tarvitse sitoa tiettyyn työpisteeseen. (Siegwart & Nourbakhsh 2004, 1-2.)

Mobiilirobottien toiminta voidaan tiivistää kolmeen kategoriaan: liikekyky, havainnointi ja näkö sekä lokalisaatio ja äly.

Liikekyky on tärkeä määritys robotin toiminnalle, sillä mobiiliroboteille on olemassa lukuisia eri käyttökohteita ja -mahdollisuuksia, on myös näihin kehitetty erilaisia liiketapoja. Mobiilirobottien on mahdollista kävellä, hypätä, juosta, liukua, liukua, uida, lentää ja rullata (Siegwart & Nourbakhsh 2004, 13). Rullaaminen on yleisin nykyisin käytetty liikekyvyn muoto, johon myös tässä työssä käytetyt robotit kuuluvat.

Havainnointi ja näkö kertovat siitä, millä tavoin mobiilirobotti seuraa ympäristöään. Mobiilirobottihin on asennettu sensoreita ja kameroita, joilla nämä havaitsevat ympäristöään ja esteitä (Raj & Kos 2022, 10). Sensoreita käytetään nopeuden, esteiden, kontaktin, suunnan, toiminnan ja liikkeen seuraamiseen. Kameroilla tutkitaan ympäristöä, sen kiintopisteitä sekä kulkureitin esteettömyyttä.

Lokalisaatio ja äly ovat sidoksissa havainnointiin ja näköön, sillä näistä robotti saa datan jota käsitellä. Lokalisaatio perustuu tavallisesti havainnoitaviin kiintopisteisiin reitillä, kuten magneettinauhaan tai ympäristön muotoihin. Lokalisaatio ja äly sekä havainnointi ja näkö yhdessä liikeohjauksen kanssa muodostavat robotin navigoinnin (Siegwart & Nourbakhsh 2004, 181). Robotti

vertaa opetettua reittiä ja ympäristöä sensoreista ja kameroista saamaansa dataan. Koneäly kääntää datan ja suorittaa vertailun, minkä tuloksena mobiilirobotti osaa arvioida sijaintinsa kartalla. Mobiilirobotilla on kaksi reitinsuunnitteluvaihetta, globaali reitinsuunnittelu ja paikallinen reitinsuunnittelu. Globaalilla reitinsuunnittelulla tarkoitetaan alustavaa mobiilirobotin reititystä alkupisteestä päämäärään ja paikallisella reitinsuunnittelulla reagoivaa reititystä, jolloin robotti pyrkii väistämään esteitä ja poikkeamia alkuperäiseltä reitiltä. (Raj & Kos 2022, 13.) Koneäly ohjaa mobiilirobotin moottoreita tuottaakseen liikkeen ja suunnittelee kuljettavan reitin sensori ja kameradatan sekä opetetun reitin sekä ympäristön perusteella (Siegwart & Nourbakhsh 2004, 181-182).

Mobiilirobottien laajan soveltuvuuden vuoksi näiden käyttöä voidaan kohdentaa lukuisiin erilaisiin käyttötarkoituksiin. Jo nyt mobiilirobotiikka on edesauttanut ruokateollisuuden, ruoankäsittelyn, poiminnansovellusten, verkostoitumisen ja yhteisöllisen työn sovelluksien toteuttamista. Tuotannollisten ja teknisten sovellusten lisäksi mobiilirobotiikan ratkaisuja on nähtävissä myös arkielämässä, robotti-imurit ja -ruohonleikkurit ovat lisääntyneet markkinoilla ja automatisoitujen autojen uskotaan olevan tulevaisuuden teknologinen edistysaskel. (Rubio ym. 2019, 14-15.)

3.1 Automated Guided Vehicle

Automated Guided Vehicle, eli AGV, on nimitys yksinkertaisemmasta mobiilirobotista jollaisia otettiin tuotannolliseen käyttöön jo vuonna 1953. AGV:lla voidaan suorittaa yksinkertaisia ja toistettavia kuljetuksia. AGV-ratkaisuja on hyödynnetty varastoissa ja logistiikassa, tuotannossa sekä julkisissa palveluissa tämän tehokkuuden, joustavuuden, luotettavuuden, turvallisuuden ja skaalautuvuuden ansiosta. (Moshayedi ym. 2021, 34.)

AGV robotiikan navigointi perustuu ennalta määritettyyn reititykseen, kuten magneettinauhojen tai heijastavien pintojen (heijastinpylväät) seuraamiseen. Kyseinen reititys on erinomainen keino luoda luotettavia ja toistettavia kuljetuksia, mutta tämä aiheuttaa suurissa varastoissa ja tuotantotiloissa

joustavuuden menetystä. Reititysten muuttaminen vaatii aikaa ja kustannuksia, kun reitityksiä korjataan ja asennetaan uudestaan. Tämän lisäksi kun mobiilirobotti seuraa tarkasti asetettua reittiä, ei tämä tarvittaessa pääse väistämään reitille osuvia esteitä tai laskemaan itselleen tehokkaampaa tai nopeampaa kulkureittiä.

Termistä AGV on vuosien aikana tullut yleisnimitys mobiilirobotiikalle, jonka alle voidaan sanoa myös kuuluvan älykkäämmät automaattiset mobiilirobotit.

3.2 Autonomous Mobile Robot

Autonomous Mobile Robot, eli AMR, on mobiilirobotti, jolla itsessään on kyky määrittää toimintansa ja liikkeensä tehtävän suorittamiseksi hyödyntämällä näkölaitteitaan. Koneälyä ja hallintalaitteistoa tarvitaan koordinoimaan kaikkia järjestelmiä, että robotti suoriutuu toiminnoissaan. (Rubio ym. 2029, 1-2.)

AMR hyödyntää sensoreillaan mitattavia signaaleita määrittääkseen suhteensa ympäristöön. Mittaukset eivät ikinä ole täydellisiä, vaan nämä sisältävät virheitä ja tämän vuoksi näihin on suhtauduttava riittävällä varauksella. AMR:iä ja tämän sensorien syötteitä on käytettävä siten, että mobiilirobotin voidaan antaa vuorovaikuttaa ympäristöönsä huolimatta mittausten epätarkkuudesta. (Siegwart & Nourbakhsh 2004, 151.)

AMR:n etu AGV:hen verrattuna on tämän mahdollisuus reagoida ympäristöönsä ja vaikuttaa kulkemaansa reittiin. Kun AGV kulkee tälle määrättyä kulkureittiä eikä poikkea tältä, kulkee AMR tälle määrättyä kulkuväyliä mutta voi tarvittaessa suunnitella itselleen paremman tai esteettömän kulkureitin.

Sensorien mittausten ja koneällyn tulkinnan vuoksi AMR:ien ympäristö on oltava näille luettavissa ja selkeä. Sillä AMR tulkitsee tämän mitattavia signaaleja vertaamalla tälle annettuun pohjadataan, tulee mitattavan geometrian olla selkeästi tulkittavissa. (Siegwart & Nourbakhsh 2004, 152.)

AMR:ien haasteita ovat tarkat liikkeet ja kapeat kulkuväylät. AMR reagoi herkästi mittaamiinsa geometrisiin havaintoihin ja suorittaa jatkuvasti pieniä korjausliikkeitä ajonsa aikana.

3.3 Fleet

AMR ratkaisut itsessään voivat olla arvaamattomia ja tehokkuutensa puolesta heikkoja. Täten AMR:ien toteutuksessa on mahdollisuus optimoinnille, joka on toteutettu Fleet-järjestelmällä. Fleet tarjoaa käytännöllisen lähestymistavan mobiilirobottien hallintaan, joka sallii optimoitavan reittisuunnittelun, turvallisen ajoneuvon hallinnan sekä nopean ja joustavan ratkaisun muuttuvaan ympäristöön ja pitkiin operointiaikoihin. (Berndt ym. 2021. 132.)

Fleet toimii ohjelmakokonaisuutena, joka tarjoaa käyttäjillä mahdollisuuden hallinnoida useita mobiilirobotteja yhden järjestelmän kautta. Tämän avulla voidaan luoda robottiryhmiä, kartoja, alueita, tehtäviä, ohjeita ja käskyjä roboteille jaettavaksi, tai eriytetysti yksittäisille roboteille. Fleet-järjestelmä hoitaa robottien käskytyksen lähettämällä tarvittavat komennot oikeille roboteille, joiden sisäinen laitteisto tulkitsee signaalin sisältämän komennon ja suorittaa tämän. (Berndt ym. 2021. 165.)

Verkkoyhteys on edellytys Fleet-järjestelmän toiminnalle. Nykyiset mobiiliverkot mahdollistavat luotettavan datansiirron robottien ja Fleetin välillä. Verkon voi usein toteuttaa Fleetin käyttöönottajien tarpeiden ja toiveiden mukaisesti. Fleet voi toimia pilvipalveluna tai yksityisenä verkkona. (Berndt ym. 2021.133-134.) Valittu ratkaisu vaatii robottien pääsyn verkkoon, jolloin suurissa tuotantotiloissa ja halleissa verkon kantamaa tulee usein parantaa lisäämällä tarpeeksi reitittämiä.

Fleet-järjestelmiä on useita eri toimijoilta. Usein robottivalmistajilla on omille roboteilleen oma Fleet, mutta markkinoilla on myös kolmannen osapuolen Fleet-järjestelmiä. Robottivalmistajat voivat valmistaa robottinsa suljetuiksi järjestelmiksi, jolloin heidän roboteissaan voidaan täyden toiminnallisuuden saavuttamiseksi hyödyntää ainoastaan heidän Fleet-järjestelmäänsä.

VDA5050-standardilla tarkoitetaan standardisoitua mobiilirobottien kommunikaatiota toisten mobiilirobottien sekä Fleet-järjestelmän välillä. Lisääntyvät robottimallit ja -tyypit käyttöönottajien tiloissa voi johtaa monimutkaisiin ja useisiin eri järjestelmiin, jotka eivät kommunikoi keskenään. VDA5050-standardilla pyritään mahdollistamaan eri robottimallien ja -tyyppien välinen keskustelu avoimesti. Noudattamalla standardia robottivalmistaja mahdollistaa robottiensa yhteensopivuuden muiden, sekä kolmansien osapuolien, Fleet-järjestelmien kanssa. (Wade 2023.)

4 Mobile Industrial Robots

Mobile Industrial Robots, eli MiR, on yksi suurimmista yhteistoiminnallisten mobiilirobottien valmistajista. Tanskalainen yritys valmistaa käyttäjäystävällisiä, joustavia ja turvallisia robotteja yrityksille parantamaan operaatioiden tehokkuutta. Yhtenä ensimmäisistä alansa toimittajista, MiR saavutti nopean maailmanlaajuisen asiakaskunnan. (Mobile Industrial Robots: About MiR 2023.)

4.1 Yhtiö

MiR:in perustamisen perusajatuksena oli luoda mobiilirobotteja, joiden käytännöllisyys, koottavuus ja laajennettavuus vastaisi LEGO:jen yksinkertaisuutta. (Mobile Industrial Robots: MiR History 2023.)

Yhtiö perustettiin vuonna 2013 optimoimaan maailmanlaajuisesti logistiikan toimintaa. 2015 yhtiö valmisti ensimmäisen mobiilirobottimallinsa ja tästä lähtien yhtiö on kasvanut ja laajentunut nopeasti. (Mobile Industrial Robots: MiR History 2023.)

MiR laajensi tuotekatalogiaan vuonna 2016 aloittamalla ensimmäisen lisälaitteen valmistuksen, MiR Hook:in. Seuraavina vuosina yhtiö aloitti kansainvälisen toimintansa parantaakseen useiden eri alojen sisälogistiikkaa. Vuonna 2020 MiR julkaisi kehittyneemmän, soveltuvamman ja joustavamman mobiilirobottimallin. (Mobile Industrial Robots: MiR History 2023.)

MiR yhdistyi AutoGuide Mobile Robots yhtiön kanssa vuonna 2022 ja ryhtyi tuottamaan mobiilirobottiratkaisuja eripainoisille kuormille. Nykyään MiR toimii jopa 60:ssä maassa. (Mobile Industrial Robots: MiR History 2023.)

4.2 MiR mobiilirobotit

MiR mobiilirobotit ovat robottialustoja, joiden liiketoiminta perustuu rullaamiseen, eli robottien alla oleva ajopyörä ohjaa robotin liikkeen. Robottien

kulmissa olevat kääntöpyörät edesauttavat robotin kääntymistä ja liikkuvuutta. (Moshayedi ym. 2021, 35.)

Robottialustalla tarkoitetaan robottia, joka sellaisenaan hankittaessa suorittaa vain perustoimenpiteet. Eli mobiilirobottien tapauksessa liikkeen. MiR mobiiliroboteissa ei tule mukana päällä olevaa moduulia. (Moshayedi ym. 2021, 35.) Moduuleilla voidaan suorittaa halutut toiminnot, tämä voi olla cobottityyppinen robottikäsisivarsi, kiinnityskoukku tai kuten VA:n tapauksessa siivekkeet ulos työntävä kiinnitysmoduuli.

MiR:in tuotantoideologian mukaisesti joustavuus, yhteystyö, käytettävyys, alhaiset huoltovaatimukset ja matalat operointikustannukset mahdollistavat erilaisten moduulien valmistamisen. MiR mobiiliroboteihin on saatavilla MiR:in omia lisälaitteita, mutta myös ulkopuolisten tekijöiden on mahdollista toteuttaa sopivia ratkaisuja mobiilirobotin käyttöönottajien tarpeisiin.

4.2.1 Robottimallit

MiR valmistaa nykyisin neljää eri mobiilirobottimallia. Robottien perustoimintamalli ja rakenne ovat malleissa samanlaisia. Mallien eroavaisuus tulee näiden liikenopeudesta, käyttöajasta, maksimikuormasta sekä fyysisestä koosta. Robottien nimeämiskäytäntö noudattaa erottelua maksimikuorman mukaisesti, mikä helpottaa robottien kantokyvyn ja eroavaisuuden havaitsemista. Nykyisten mallien vertailu on tehty taulukkoon 1 MiR:in (Mobile Industrial Robots: Robots 2023) tuotesivujen mukaan.

Taulukko 1. MiR mobiilirobottimallien vertailu (Mobile Industrial Robots: Robots 2023).

Malli	Maksiminopeus (m/s)	Käyttöaika (h)	Maksimikuorma (kg)	Mitat (mm) (pituus x korkeus)
MiR100	1.5	10	100	890x580
MiR250	2.0	13	250	800x580
MiR600	2.0	10.45	600	1350x920
MiR1350	1.2	9.50	1350	1350x910

Mobiilirobotit eroavat ulkoisesti ja nämä on nähtävissä kuvassa 2, missä robotit on järjestetty suurimmasta pienimpään (Automation 2019).



Kuva 2. MiR mobiilirobottimallit suurimmasta pienimpään (Automation 2019).

MiR on valmistanut eri painoluokan robottimalleja jo muutaman vuoden ajan ja mallit ovat päivittyneet kehityksen myötä. Ennen taulukon 1 malleja MiR600 ja MiR1350 valmistettiin malleja MiR500 ja MiR1000, joiden valmistus korvattiin suurempikuormaisilla malleilla.

5 Lähtökohdat

Työn aloittamiseen Valmet Automotive EV Power Oy antoi lähtöasetelmat, joiden mukaan työtä suoritettaisiin. Lähtöasetelmat koostuivat valmiiksi hankituista laitteistoista, työvälineistä, ohjelmistoista, vaatimuksista ja tavoitteista.

5.1 Osakuljetus

Tarkoituksena oli suunnitella ja toteuttaa osakuljetuksia akkutehtaan varastosta tuotantoon. Yhden Salon akkutehtaan tuotantolinjan materiaalivirrat on suunniteltu automatisoitavaksi, mutta näiden osien kuljetus on vielä toiminut manuaalisesti. Tällä tarkoitetaan materiaalikuljetusta joko jalkaisin tai pinontavaunulla, riippuen kärrystä ja kuljetettavasta materiaalista.

Osakuljetukset varastosta jakaantuvat kahdentyyppisiin toimituksiin: isoihin ja pieniin tuotanto-osiin. Isot osat toimitetaan tietyille työasemille tuotannossa, kun taas pieniä osia tarvitaan monella eri työasemalla. Tästä syystä isojen osien automatisointia on jokaista osaa harkittavana omana kokonaisuutenaan ja pieniä osia yhtenä selkeänä toimintana. Tässä työssä keskitytään vain isojen osien kuljetuksen automatisointiin.

5.1.1 Kuljetettavat isot osat

Varastosta tuotantoon kuljetettavia isoja osia on neljä. Osat muodostavat akun ulkokuoren, varmistavat tiiveyden ja toimivat lämmöneristeenä tuotteen sisällä. Työn selkeyttämiseksi ja luettavuuden parantamiseksi osia kutsutaan jatkossa taulukkoon 2 mukaisilla nimillä.

Taulukko 2. Isojen osien nimeäminen ja kuvailu.

Nimi	Kuvailu	Mitat PxLxK (mm)
Osa A	Valmiin akun pohjaosa. Elektroniset osat ja moduulit rakennetaan tämän osan päälle.	1500x500x400
Osa B	Valmiin akun kuoriososa. Suojaa valmista akkua ja tämän elektronisia osia.	1500x600x450
Osa C	Tiivistävä puristinosa. Tikkumaiset kappaleet asennetaan, jotta akusta saadaan kompaktimpi ja tiiviimpi.	1200x400x4
Osa D	Osa A:n alapuolelle asennettava lämpösuoja. Ohut levymäinen kappale suojaa akkua ulkopuoliselta lämmöltä.	1500x500x2

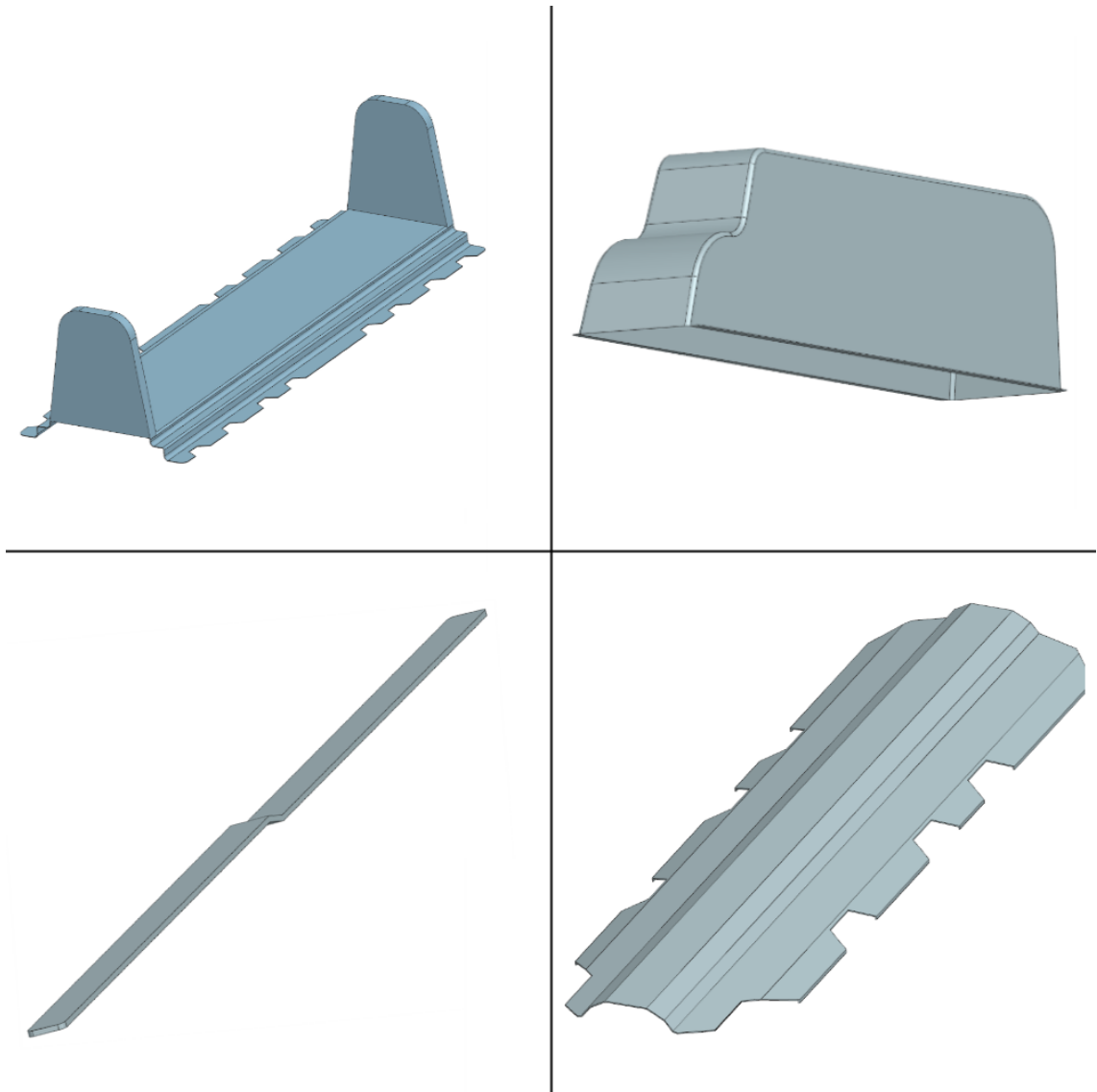
Sillä osat vastaavat valmiin akkupaketin mittoja, näiden kuljettaminen ja säilyttäminen varastossa sekä tuotannossa on suunniteltava tarkasti.

Taulukkoon 2 on kirjattu osien arvioidut mitat.

Akun valmistuksessa isojen osien asennus tapahtuu minuuteissa, joten näitä on joko tuotava jatkuvassa virrassa tai isompia eriä kerrallaan jatkuvan tuotannon varmistamiseksi. Jatkuvan virran toteuttaminen ei olisi Lean-ajatusmallin mukaista, sillä kuljetusten määrät aiheuttaisivat hukka-aikaa. VA on tuotannossa päättänyt toteuttaa materiaalivirran lisäämällä kuljetettavien osien lukumäärää vähentäen kuljetuksien tarvetta. Samaa ajatusmallia sovelletaan kaikkien tuotannossa käytettävien osamateriaalien kuljetukseen, jotka ovat tuotannossa aktiivisessa kulutuksessa.

Isojen osien tuonti suuremmissa erissä on suunniteltu jokaisen ison osan yksittäiseen kokoon (taulukko 2) ja tuotannolliseen tarpeeseen perustuen. Osat A ja B koostavat akun ulkoisen kuoren ja ovat osia C ja D huomattavasti suurempia. Näiden kahden osan sisälle rakennetaan varsinainen akun

toiminnallinen sisusta. Kuvaan 3 on mallinnettu osat yksinkertaistaen näiden ulkoasua.

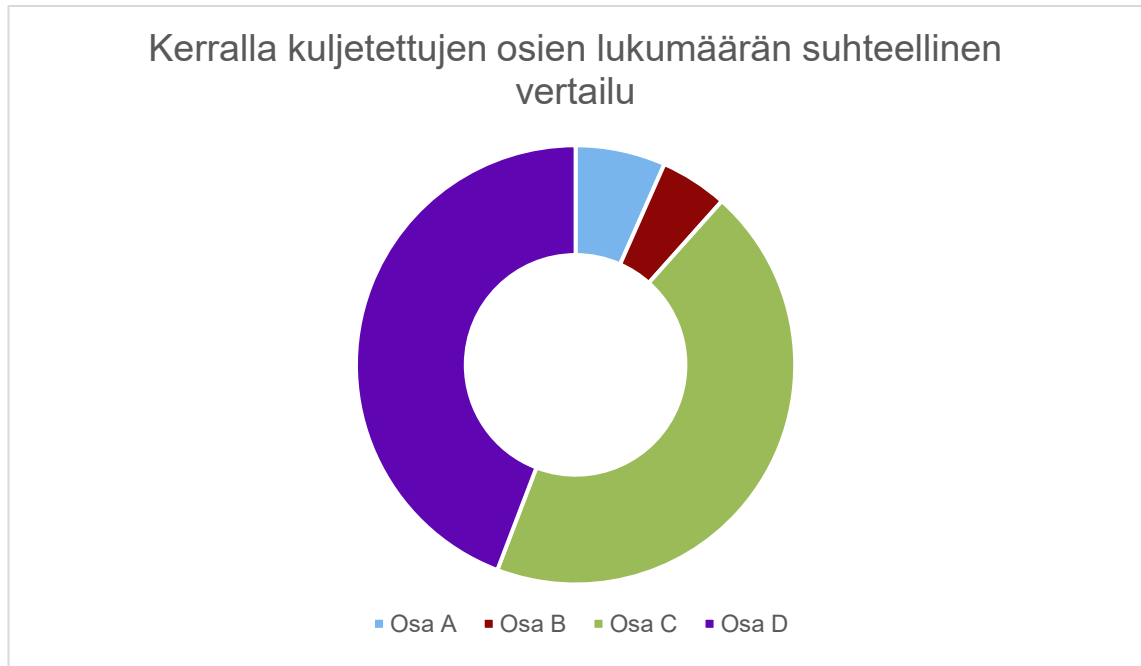


Kuva 3. Osien A, B, C ja D yksinkertaistetut 3D-mallit.

Osat lastataan varastossa osille kuuluviin materiaalikärryihin. Tuotannon tilatessa materiaalia, toimitetaan täysi materiaalikärry tuotantoon ja aikaisempi, tyhjentynyt, materiaalikärry tuodaan takaisin varastoon uudelleen lastattavaksi.

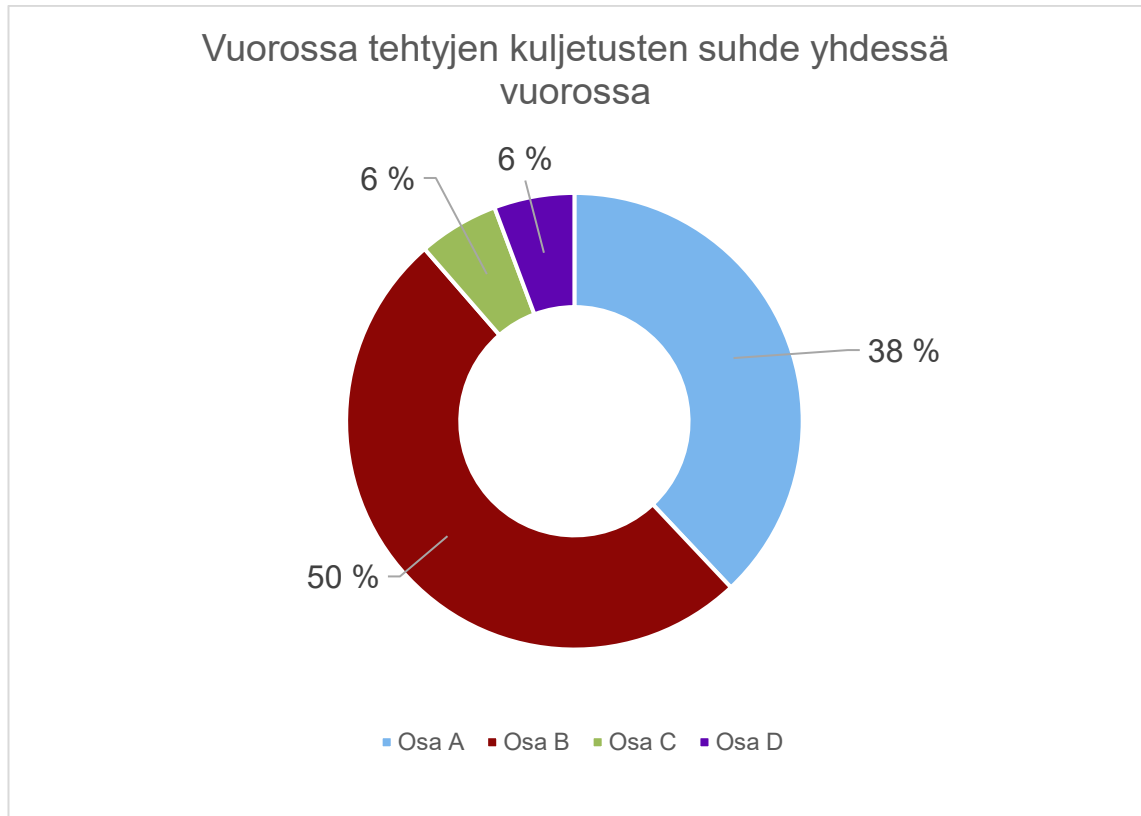
Suurten mittojen vuoksi osia A ja B kuljetetaan tuotantoon yhdessä kuljetuksessa vähemmän kuin pienempiä osia C ja D. Yhdessä

materiaalikärryssä kuljetettujen osien lukumäärää on vertailtu havainnollistavasti kuvioon 1.



Kuvio 1. Kuljetettävien osien lukumäärän vertailu.

Kuviosta 1 nähdään, että osia C ja D tuodaan yhdessä kuljetuksessa huomattavasti useampi kappale kerralla kuin osia A ja B. Sillä jokaista osaa tulee yhteen valmiiseen akkuun yksi kappale tämä tarkoittaa sitä, että osia A ja B tulee täydentää tuotantoon useammin kuin osia C ja D. Kuvioon 2 on kuvattu laskennallinen vertailu osien kuljetusten lukumäärästä yhden työvuoron aikana. Tulokset on saatu laskemalla vuorossa valmistettavien akkujen lukumäärä yhden materiaalikärryn osien lukumäärällä. Kuviota 2 vertaamalla kuvioon 1 nähdään, että kuljetusten osuuden kuvio on käänteinen osien lukumäärän kuvioon. Kuviosta 2 voidaan todeta, että vuorossa tehdyistä kuljetuksista noin 88% kuluu vain osien A (38%) ja B (50%) kuljetuksiin.



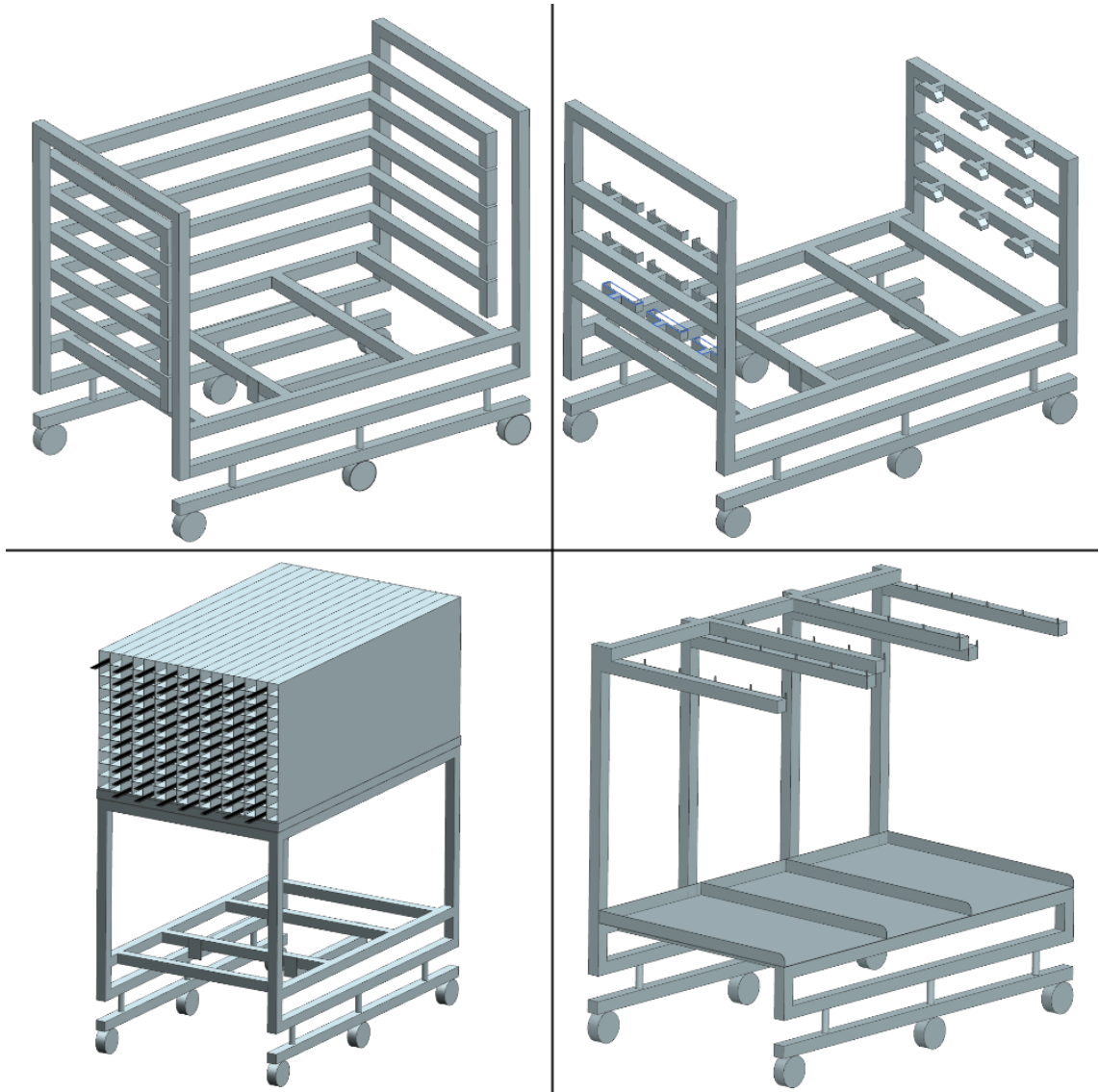
Kuvio 2. Yhden työvuoron kuljetusten suhde osille A, B, C ja D.

Sillä osia A ja B kuljetetaan usein, on näiden tavoiteaika huomattavasti pienempi kuin osilla C ja D. Osat A ja B voidaan tuotannon kannalta täten luokitella aikakriittisiksi osiksi, jotka tulee kuljettaa ajoissa.

5.1.2 Materiaalikärryt

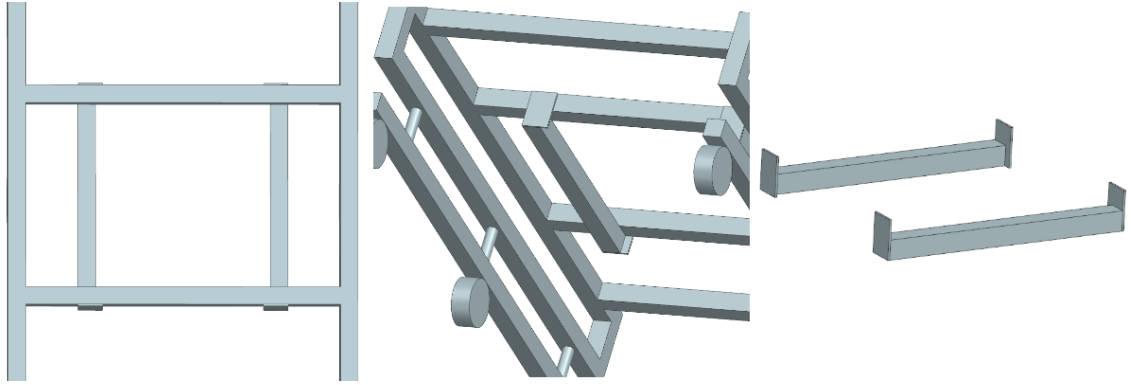
Osakuljetuksia varten VA oli aikaisemmin hankkinut materiaalikärryt yksittäisille osille. Materiaalikärryt ovat alumiinirakenteisia kehikkoja, joita liikutellaan renkaiden avulla. Osien A,B ja D materiaalikärryt on valmistettu osia varten olevilla lastaustelineillä ja -varsilla. Osa C:n materiaalikärryn päällä on sähköstaattiselta purkaukselta suojaavasta materiaalista valmistettu lokerikko, johon osat lastataan. Kärryissä on kuusi rengasta, joista etu- ja takarenkaat pyörivät akselinsa ympäri, keskirenkaat ovat yhteen asentoon kiinnitetyt ohjauspyörät. Materiaalikärryjen yksinkertaistetut 3D-mallit on mallinnettu

kuvaan 4. Kuvasta nähdään kärryjen eroavaisuudet ja voidaan hahmottaa minkälaisia materiaalikärryjä opinnäytetyössä kuljetetaan.



Kuva 4. Osien materiaalikärryjen yksinkertaistetut mallit järjestyksessä osa A, B, C ja D.

Mobiilirobotin kiinnittymistä varten kärryn alle on lisätty alumiiniprofiilit, joiden väliin robotti ajaa ja kiinnittyy. Erilliset profiilit ovat kärryn rakenteessa kiinnitettyinä profiilikiinnittimillä ja tähän tarkoitukseen valmistetuilla teräslaatoilla. Profiileista on tehty havainnollistavat 3D-mallit kuvaan 5. Kuvasta 5 nähdään profiilien sekä teräslaattojen väli ja ulkoasu.



Kuva 5. Kiinnitysprofiilien yksinkertaistettu 3D-malli.

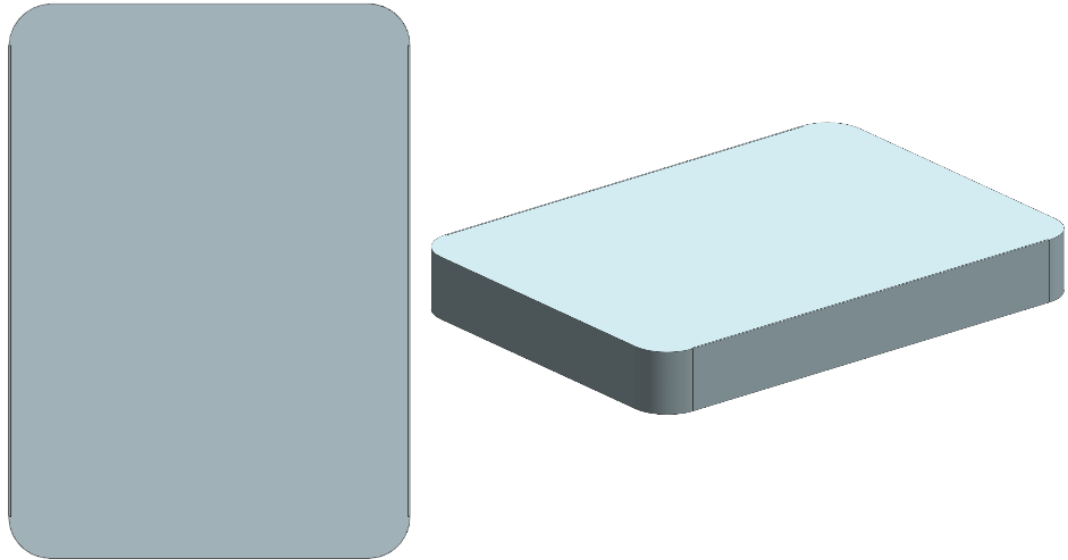
Osien C ja D kärryjä on vähemmän kuin osien A ja B kärryjä, sillä osia C ja D kuljetetaan tuotantoon suuremmissa kappalemäärissä. Kärryt ovat pituudeltaan noin 1800mm ja leveydeltään 1000mm. Korkein materiaalikärry (osa C) on korkeudeltaan noin 1900mm, noin 500mm matalinta korkeampi. Kärryjä käytetään materiaalipuskurina varastossa sekä tuotannossa, joten on tyypillistä, että varastossa on valmiina usea lastattu materiaalikärry. Tämä tuottaa haasteita niin automatisoinnin suunnittelussa.

5.2 Robotit

Mobiilirobotit osoittautuivat sopivaksi vaihtoehdoksi osakuljetuksen automatisointiin, sillä tämä vaati minimaalisia toimenpiteitä. Materiaalikärryt osakuljetukselle olivat jo valmiina, joten lisäämällä kärryjen alaosaan kiinnitysprofiilit saatiin nämä robottikuljetuksiin soveltuviksi.

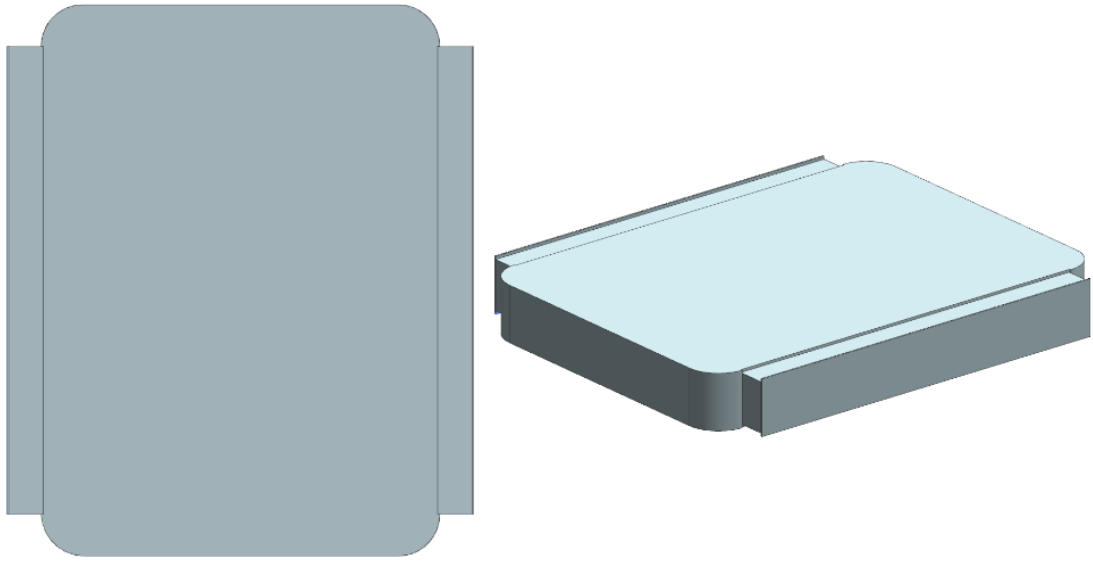
Mobiilirobottien yläpuolelle asennettu kiinnitysmoduuli on laite, jolla saavutetaan materiaalikärryyn kiinnittyminen. Moduuli on kytketty saamaan virtansa mobiilirobotin 32400mAh akusta. Moduulin käyttö kuluttaa akun kapasiteettia ainoastaan operoidessaan, jonka suoritus tapahtuu lyhyessä ajassa. Akun lisääntynyt kulutus on täten minimaalista ja kytkentä on toimivampi ratkaisu kuin pieneen mobiilirobottiin lisäakun hankkiminen mistä moduuli saisi virtansa.

Kiinnitysmoduuli on noin 100mm korkea ja mobiilirobotin muotoinen. Moduulilla on kaksi asentoa, auki ja kiinni. Robotti kulkee kiinni-asennossa, eli ns. perustilassa, aina kun tällä ei ole materiaalikärryä kuljetuksessa. Kuva 6 havainnollistaa moduulin perustilaa.



Kuva 6. Mobiilirobotin päällä oleva kiinnitysmoduuli perustilassa.

Moduulin sisäinen askelmoottori pyörittää vartta, joka liikuttaa nivelvarsia siten, että moduulin kyljissä olevat siivekkeet liikkuvat ulos. Näillä robotti kiinnittyy puristuen kärryn alla oleviin alumiiniprofiileihin (kuva 5). Siivekkeet tekevät moduulista leveämmän, mikä estää robotin poistumisen materiaalikärryn alta, kun alumiiniprofiilien kiinnityslevyt ovat liikkeen edessä. Kuvasta 7 nähdään moduuli, kun siivekkeet ovat auki ja moduuli on levinneessä auki-tilassa.



Kuva 7. Mobiilirobotin kiinnitysmoduuli, kun siivekkeet ovat auki.

MiR mobiiliroboteilla on käsitys omasta koostaan, tätä kutsutaan footprintiksi eli digitaaliseksi jalanjäljeksi. Robotin tavallinen footprint vastaa robottimallin fyysistä kokoa. Tämä auttaa robottia varomaan esteitä liikkeessa kasvattamalla myös turva-alueita. MiR toimittaja oli asettanut mobiilirobotit muuttamaan footprinttinsa materiaalikärryn kokoiseksi tätä kuljetettaessa. Aina ilman kärryä liikkeessä mobiilirobotilla on pieni, omankokoisensa footprint.

5.3 Ympäristö ja turvallisuus

Turvallisuuslähtökohdat ovat tärkeitä mobiilirobotiikan toteutuksessa. Automatisointi monipuolisessa ympäristössä tuottaa useita huomioitavia kohteita, sillä tuotanto- ja varastotiloissa kulkee niin jalankulkijoita kuin logistiikan kulkuvälineitä.

Tuotantotiloissa on tehty lattiamerkinnöin kulkuväylät sekä ajoneuvoille että jalankulkijoille. Ajoneuvoille tarkoitettuja kulkuväyliä käytetään materiaalin kuljetukseen ja jalankulkukäytäviä tehtaalla liikkumiseen. Väylät risteävät useassa kohtaa, ja näihin on tehty suojatieylitykset.

Salon akkutehtaalla liikenneopastus on toteutettu ajoneuvojen etuajo-oikeuden mukaan. Eli kulkukäytävien ylityksissä, kuten suojateilla, on jalankulkijoiden väistettävä muuta liikennettä.

Ajoneuvojen kulkuväylillä liikkuu manuaalisia pinontavaunuja kuljettamassa materiaalia tuotantolinjoille. Pinontavaunujen liikenopeus on mobiilirobottien kulkunopeutta korkeampi ja nämä kuljettavat tuotantoon aikakriittisiä osia. Tästä syystä on mahdollista, että pinontavaunut saattavat ohittaa liikenteessä olevia mobiilirobotteja. Tämä on huomioitava reitityksen kaistojenleveyksissä ja robottien liikeradoissa.

Mobiilirobotteja käytettäessä tiloissa, joissa liikkuu manuaalista ajoneuvoliikennettä ja jalankulkijoita, on varmistuttava että turva-alueet robotin läheisyydessä on asetettu oikein. Näihin voidaan vaikuttaa MiR:in Fleet-järjestelmän kautta, sekä varmistamalla asianmukaiset lattiamerkinnät VA:n käyttämän työmenetelmästandardin mukaisesti.

Suunniteltaessa ja toteuttaessa materiaalikärrypaikkoja oltava tarkkana, ettei robotilla ole riskiä osua ihmisiin tai ympäristössä oleviin esineisiin.

Lisävarmistuksena liikenteessä robotteihin on asetettava asianmukaiset huomiovalot ja merkkiäänät. Nämä auttavat robotin huomaamisessa ja vähentävät siten onnettomuuksien riskiä.

5.4 Tavoitteet, suoritukset

Materiaalivirran automatisoinnin tavoitteena on automatisoida Salon akkutehtaan tuotantolinjan täyttö ja tyhjien materiaalikärryjen vienti. Tarkoituksena on saada kaikkien neljän ison osan kuljetukset toteutettua mobiiliroboteilla. Mikäli automatisointi onnistuu ja tämän todetaan tuovan ajallista säästöä, voidaan automatisointia suunnitella laajennettavaksi muihinkin tuotannon prosesseihin.

Onnistunut tavoite edellyttää, että robotti osaa hakea tuotannosta tyhjän materiaalikärryn ja tuoda sen takaisin varastoon. Robotin on myös kyettävä

noutamaan täysi materiaalikärry varastosta ja vietävä se tuotantoon samalle asemalle, mistä tyhjä materiaalikärry noudettiin.

Tämän toteuttamiseksi on tuotannosta sekä varastosta löydettävä ja valittava materiaalikärryjen vienti- ja noutopaikat osia käyttävien työasemien läheisyydestä. Näiden on oltava ympäriltään avoimia ja helposti robotin navigoitavissa.

Tehtävä rakenne on myös suunniteltava kuljetuksille sopivaksi. Oletuksena on käyttää samanlaista tehtävämallia eri osien kuljetuksia varten, mutta on myös mahdollista toteuttaa nämä erillisinä tehtävinään. Lähtökohtaisena tavoitteena on ensin saada tyhjä kärry noudettua tuotannosta ja tuoda sitten täysi takaisin tuotantoon.

Kulkureitit on suunniteltava turvallisesti ja optimaalisesti. Reititykseen vaikuttaa yleinen liikenteen kulkusuunta, käytävien leveydet sekä risteykset. Alueet, joissa on tarve toteuttaa kaksisuuntainen liikenne, on varmistettava ettei robottien kohdatessa synny liikennesuuhkia.

Kuljetuksien optimointi suunnittelun ja testauksen myötä myös opinnäytetyön aikana parantavat toteutusta.

Työlle tärkeää on varmistua siitä, että robottikuljetukset pääsevät osakuljetuksia koskeviin aikatavoitteisiin. Myöhässä tuotantoon saapuva materiaalikärry voi aiheuttaa akkutuotannon hidastumista, joten tähän täytyy varautua reittisuunnitteluvaiheessa. Osat A ja B ovat aikakriittisiä, joten näiden toteutuksessa tarkastellaan suoritusaikaa. Tavoite on saada yksi automatisoitu osakuljetus toteutumaan vähintään yhtä nopeasti, kuin se toteutuisi manuaalisella siirrolla.

Osien A ja B aikakriittisyyden vuoksi on näiden osien kuljetukselle asetettu tavoiteaika. Ennen opinnäytetyötä nämä kuljetukset on suoritettu manuaalisesti tavoiteajassa. Robottikuljetusten aikaa näille osille verrataan tavoite- ja manuaalisen kuljetuksen aikaan.

Mobiilirobotin on yhden työvuoron aikana kyettävä suorittamaan vähintään kuvion 2 mukaisesti materiaalikuljetuksia. Tähän tullaan pääsemään, mikäli kuljetukset suoritetaan tavoiteajassa tai tätä nopeammin.

Toteutuksen ja testauksen aikana selvitetään mobiilirobottien ja reittien toimivuus seuraamalla materiaalikuljetuksia. Näistä saatujen havaintojen perusteella tehdään tarvittavat parannukset ja testit toistetaan. Kun todetaan mobiilirobotin kuljettavan materiaalikärryt paikoilleen onnistuneesti toistuvasti, voidaan tavoitteen katsoa olevan saavutettu.

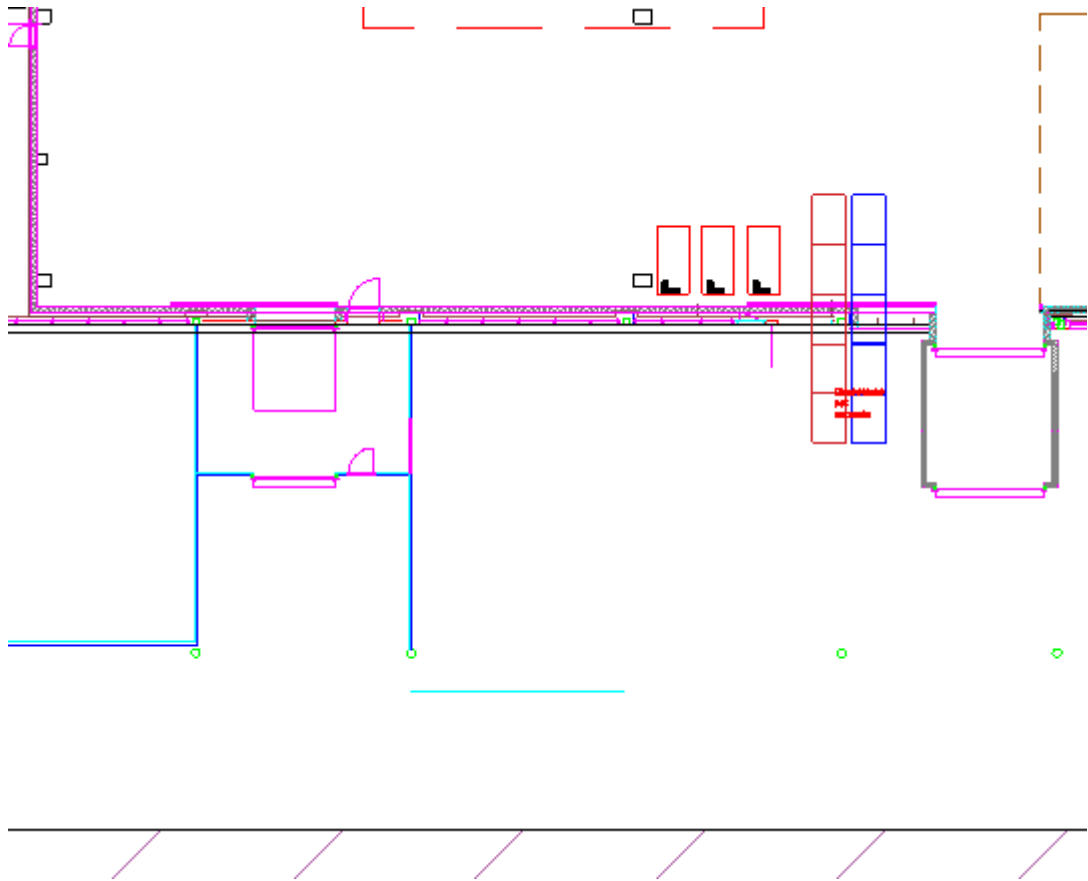
Automatisointi aloitetaan yhdestä aikakriittisestä osasta, jolle luodaan materiaalikuljetustehtävä, reitti ja reittiohjeistus. Näitä testataan ja parannetaan, kunnes kuljetuksen todetaan toimivan. Osalle luodut tehtävä, reitti ja -ohjeistus toimivat pohjana muiden osien automatisoinnille.

Kun kaikki isojen osien kuljetukset on saatu toimimaan automaattisesti, voidaan Salon akkutehtaalla siirtyä suunnittelemaan seuraavia automatisoitavia prosesseja.

5.5 Alueet, sijainnit ja reitit

Mobiilirobottien suunnittelu- ja implementointityö tehdään akkutehtaan varaston ja tuotannon välille.

Varaston tiloissa on varattu mobiilirobottiliikenteelle oma alueensa, jolla on satunnaista manuaaliliikennettä. Alueen halki kulkee jalankulkijoiden suojatie, jonka kautta varastotyöntekijät saapuvat työpisteillensä. Varastoon on valmisteltu alustava materiaalikärryalue, minne materiaalikärrypaikat voidaan sijoittaa. Tilaan on suunniteltava myös tyhjien materiaalikärryjen palautuspaikat, robottialueet sekä selkeät liikereitit. Varasto ja varastosta johtavat reitit on piirretty kuvaan 8.



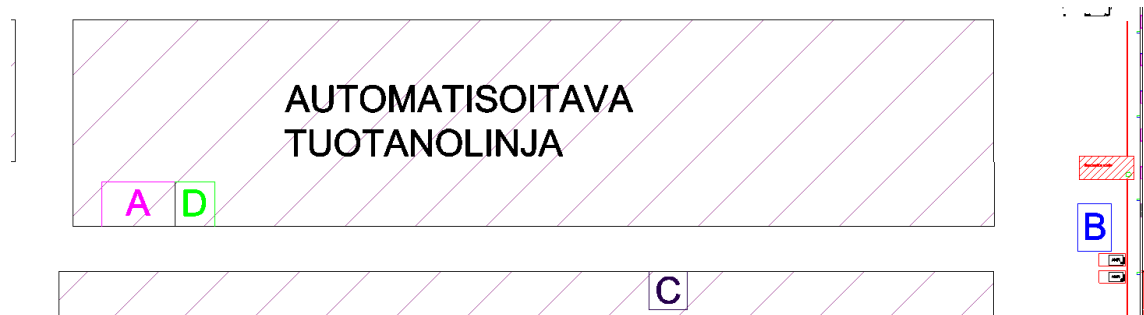
Kuva 8. Varaston robottialue ja välitilat.

Varaston ja tuotannon välillä on kaksi välitilaa (kuva 8), jotka kummatkin on varusteltu kahdella liukuovella. Näillä on varmistettu, ettei varaston puolelta kertyvää pölyä ja likaa kulkeutuisi puhdastilaksi luokitetun tuotannon puolelle. Liukuovet saavat olla auki vain yksi kerrallaan. Robottien liikkuminen on suunniteltava välitilasta siten, että mobiilirobotti pysähtyy välitilan keskelle odottamaan oven laskeutumista kiinni. Ovien automaattinen toiminta on toteutettu signaalimoduuleilla. Mobiilirobotti lähettää Fleet-karttaan luodulla alueella avauskäskyn Fleet-alueeseen linkitettyyn liukuoveen. Liukuovien takana olevat valoverhot lähettävät avauskäskyn, mitkä pitävät ovia auki kun mobiilirobotti liikkuu valoverhoista välitilaan ja ulos. Liukuovissa on viiden (5) sekunnin aikakatkaisu kun nämä ovat ylhäällä eivätkä saa enää avauskäskyä valoverhoilta tai signaalimoduulilta. Viiden sekunnin jälkeen ovi laskeutuu takaisin alas ellei valoverho tunnista esinettä välissä tai ovelle anneta avauskäskyä.

Molempien välitilojen käyttö materiaalikuljetuksissa olisi kulkusuuntien ja materiaali kierron kannalta varmin ratkaisu. Kuvan 8 oikeanpuoleisen välitilan varaston edusta on manuaalisten trukkien ja materiaalin syötön vuoksi kuitenkin jo hyvin aktiivinen alue. Mobiilirobottien kulkureitin suunnitteleminen tämän kiireisen alueen lävitse hankaloittaisi niin mobiilirobottien, kuin manuaalisten trukkienkin toimintaa. Tämä aiheuttaisi tuotannollisia viivästyksiä sekä onnettomuusriskejä pitkäaikaisella käytöllä. Pelkästään kuvan 8 vasemmanpuoleisen välitilan käyttämisen todettiin olevan turvallisempi ratkaisu. Tämä tarkoittaisi reittisuunnittelussa sitä, että välitilan käytävään tulisi tehdä kaksisuuntainen liikenne.

Tuotantotilan robottien kulkusuuntien on noudatettava pääsääntöisesti manuaalista liikennettä. Liikenteen suuntamuutoksia voidaan toteuttaa, mikäli nämä todetaan prosessia hyödyntäväksi ja tästä tiedotetaan selkeästi vastuuhenkilöille.

Osien materiaalikärrypaikat tuotannossa eivät saa olla muun liikenteen tai työnteon esteenä, eivätkä estää pääsyä välttämättömille kohteille, kuten sähkökaapeille tai päätelaitteille. Kaikki neljä isoa osaa viedään omille työasemien paikoilleensa kuvan 9 mukaisesti, jotka sijaitsevat eri puolilla tuotantoa.



Kuva 9. Osien A, B, C ja D työasemien läheiset paikat.

Automatisoitava tuotantolinja kattaa vain pienen osan Salon akkutehtaan tuotantotiloista (kuva 1). Linjan vasemmassa päädyssä on alikulkukäytävä,

jonka toisella puolella sijaitsee toinen tuotantolinja. Alikulkukäytävä tarjoaa haasteita tämän kapean välinsä takia.

Tuotantolinjojen ympäristössä on materiaalilaatikoita ja -paletteja, jotka saattavat vaikeuttaa pienten mobiilirobottien havaitsemista. Tämä on huomioitava reittisuunnittelussa.

6 Tehtäväsuunnittelu

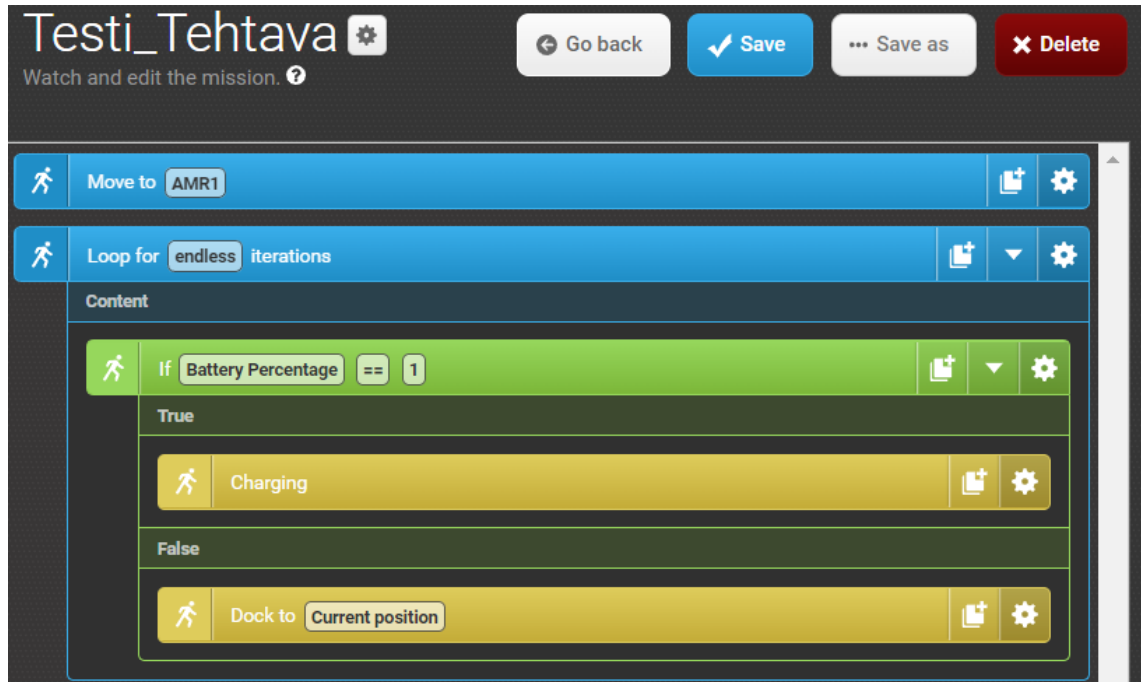
Materiaalikuljetuksia varten on luotava tehtävä. Tehtävien suunnittelussa tarkastellaan mahdollisia lähtö- ja vientipaikkoja, kulkureittejä ja -suuntia, sekä kuljetuksen aikaisia välivaiheita.

Robottien toimittaja oli luonut ennen työn aloittamista tehtävät materiaalikärryjen poimimista ja jättämistä varten. Esimerkiksi kiinnitysmoduulin hallinta toimii näiden valmiiden tehtävien avulla. Robotin sisäistä ohjelmoitavaa logiikkaa hallitaan tehtävillä ja näillä ohjataan robotin kiinnitysmoduulin asentoa, robotin footprinttia ja moottorien toimintaa.

Tehtävien luonti suunnitellaan käyttäjäystävällisyyden mukaisesti. Kun mobiilirobotit otetaan mukaan osaksi varsinaista tuotantoa, ovat näiden pääkäyttäjät logistiikan työntekijöitä. Logistiikan työaseman työntekijät vaihtavat tehtäviään viikoittain ja työtä tehdään kolmessa vuorossa. Tehtävien on oltava helposti hallittavia ja ymmärrettäviä, että jokainen työntekijä oppii näiden käytön nopeasti.

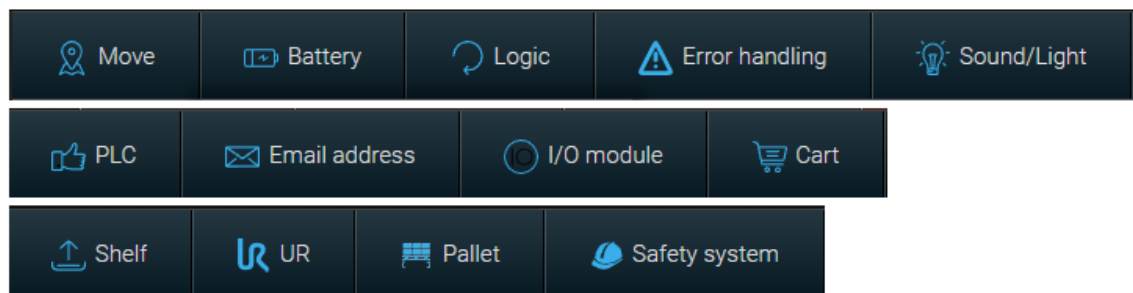
6.1 MiR Fleet tehtävien rakenne

MiR tehtävät rakentuvat tehtävämoduuleista. Tehtävien toteutus tapahtuu hierarkkisesti, eli tehtävien eri vaiheet listataan allekkain ja tehtävävaiheet suoritetaan ylhäältä alaspäin. Tehtävämoduulit näkyvät verkkosivun muokkauskentässä, kuten kuvassa 10, missä näitä voidaan muokata ja siirtää. Muokkauskenttä visualisoi tehtävän rakenteen selkeässä muodossa.



Kuva 10. Esimerkki yksinkertaisesta tehtävärakenteesta.

MiR tarjoaa useita valmiita peruskomentoja tehtävien perusrakenteen muodostamiseksi. Peruskomennot on jaettu kategorioittain kuvan 11 tapaan. Näistä voidaan rakentaa alitehtäviä. Peruskomennot sisältävät esimerkiksi yksinkertaisen loop-silmukan toteuttamisen, mobiilirobotin liikuttamisen kartalle tallennettuun paikkaan, sekä monia muita. Nämä peruskomennot toimivat pohjana kaikille muille tehtäville.

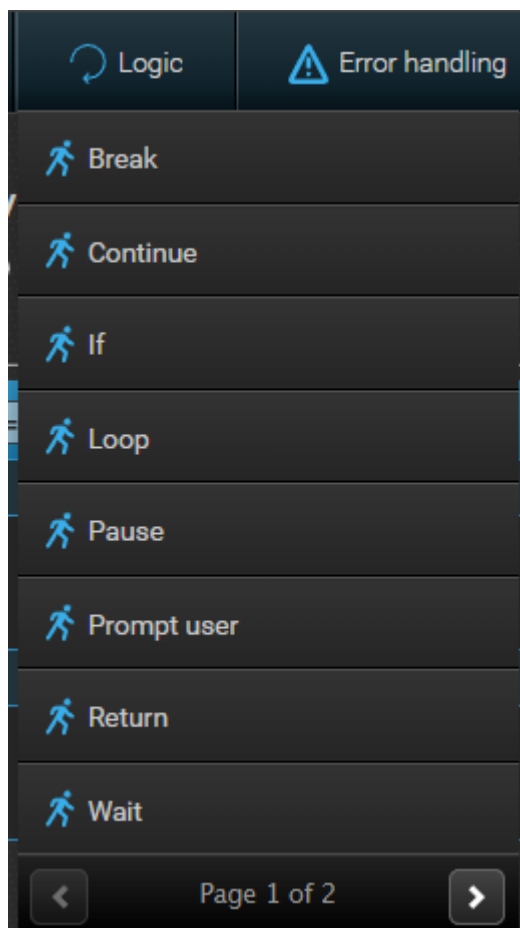


Kuva 11. Peruskomentokategoriat.

Peruskomennot ovat nimitys valmiille tehtävämoduuleille, Tehtävämoduuli voi olla mikä tahansa tehtävän sisäinen komento tai alitehtävä kuten

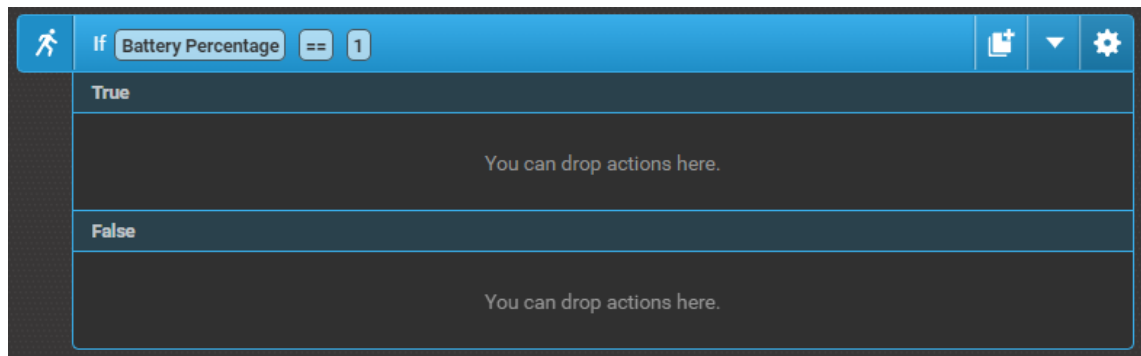
peruskomentojen liikekomento 'Move', nopeuden asetuskomento, tai materiaalikärryn poimiminen. Tällaiset yksinkertaiset tehtävät vaativat käyttäjältä minimissään yhden lähtötiedon. Esimerkiksi liikekäskyn käyttäjän on asetettava lähtötietoihin liikekäskyn kohteen komennon sisäisestä pudotusvalikosta kuten kuvan 10 ensimmäisessä tehtävämoduulissa.

Kuvan 11 kategorioita klikkaamalla aukeaa pudotusvalikko, josta valitaan haluttu tehtävämoduuli kuvan 12 tapaan. Monimuotoisemmat tehtävämoduulit vaativat allensa toisia tehtävämoduuleita. Esimerkiksi kuvan 12 'Logic'-peruskomentojen pudotusvalikosta löytyvä If-komento tarvitsee logiikkansa toteuttamiseksi vaihtoehtoiset tehtävämoduulit, mitä toteuttaa ehtojen täytyessä. If-komennon rakenne nähdään kuvassa 13.



Kuva 12. Logic peruskomentojen pudotusvalikko.

'Move' liikekäsken tavoin myös monimutkaisemmat tehtävämoduulit voivat vaatia lähtötietoja, kuten If-komento vaatii tiedot, milloin toteuttaa kyseinen komento. If-komennon lähtötietoja kuvaavat kuvan 13 'Battery Percentage', '==' ja '1' syötteet. Kuvan 13 kenttiin joissa lukee 'You can drop actions here.', sijoitetaan halutut tehtävämoduulit.



Kuva 13. Esimerkki if-komennosta.

6.1.1 Alitehtävät

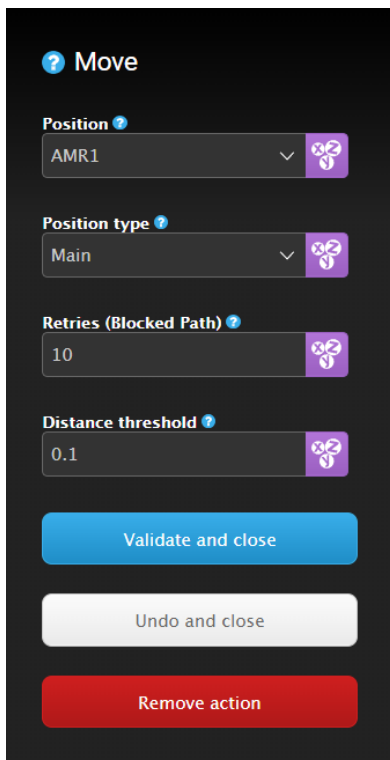
Alitehtävä on lyhyempi tehtäväkokonaisuus, jota voidaan käyttää useammassa tehtävissä. Alitehtävien muodostaminen helpottaa kokonaisten tehtävien luomista. Alitehtävää apuna käyttäen samanlaisia tehtävärakenteita ei tarvita luoda useaan kertaan, vaan voidaan kutsua tiettyä alitehtävää monessa eri tehtävässä. Alitehtävä on usein yksinkertainen, mutta voi sisältää monimutkaisempiakin tehtävärakenteita. Nämä tehtävät luodaan sopimaan yleisesti muiden tehtävien alle, joten tarkkoja paikkakomentoja tai kerran käytettäviä käskyjä ei ole suositeltavaa sisällyttää vielä näihin tehtäviin.

6.2 Tehtävien muodostaminen

Peruskomentojen pudotusvalikoista valitaan haluttu tehtävämoduuli, jota painamalla tämä ilmestyy muokkaukentän alimmaiseksi tehtävämoduuliksi. Tehtävämoduuleita voidaan liikuttaa muokkaukentässä haluttuun tehtävän vaiheeseen hierarkiassa, tai sellaisen tehtävämoduulin sisälle joka vaatii allensa

suoritettavia tehtäviä. Liikuttaminen tapahtuu tehtävämoduulin vasemmanpuoleisesta kuvakkeesta, kuten kuvassa 13 juoksevan tikku-ukon kuvake.

Tehtävämoduuli voidaan poistaa muokkauskentästä painamalla tehtävämoduulin oikeanlataista rataan kuvaketta (kuva 13 oikea laita). Ratas avaa tehtävämoduulin muokkauskentän kuten kuvassa 14. Tämän kautta voidaan asettaa tarkentavia tietoja tehtävämoduuliin, kuten lähtötiedot ja -arvot sekä luoda muuttujia.



Kuva 14. Esimerkki tehtävämoduulin muokkauskentästä.

Lähtötietokentät saavat alkuarvot. Alkuarvoja voidaan muuttaa kirjoittamalla osoitinkenttään, tai pudotusvalikoissa avaamalla valikko ja valitsemalla eri asetus.

6.2.1 Muuttujat

Muuttuja on tehtävämoduulin lähtötietoon asetettava vaihtoehtoinen asetus. Luomalla muuttujan, voidaan asettaa tehtävämoduuli kysymään käyttäjältä tarkennusta tehtävän suorituksen aikana.

Muuttujan luominen tehtävämoduuliin ei muuta tehtävän rakennetta. Muuttujan käyttö tulee esille vasta kun tehtävä annetaan mobiilirobotille suoritettavaksi. Sen sijaan, että tehtävässä tai alitehtävässä on asetettu robotille esimerkiksi 'Move' komennolla ennalta määritelty määränpää, muuttujalla tehtävä kysyy käyttäjältä minkä määränpään käyttäjä haluaa valita. Näin voidaan käyttää samaa tehtävää eri loppupisteisiin liikkumiseen luomatta jokaiselle pisteelle omaa tehtäväänsä.

Muuttuja luodaan painamalla kuvan 14 mukaista purppuran väristä XYZ-painiketta tehtävämoduulin oikeassa laidassa. Tämä avaa uuden hyppyikkunan, minkä kautta tehdään uusi muuttuja. Muuttujalle annetaan nimi ja oletusarvo. Luotua muuttujaa voidaan käyttää eri tehtävämoduuleihin saman tehtävän sisällä, mutta muuttujat eivät välity muihin tehtäviin. Oletusarvo antaa muuttujalle ensisijaisen ehdotuksen. Kun tämä kysyy tarkennusta käyttäjältä, käyttäjä voi tämän hyppyikkunan kautta muuttaa arvoa.

6.3 Materiaalikuljetustehtävät

Isojen osien kuljetuksen suunnittelu aloitettiin yhdestä osasta. Kun yksi kuljetustehtävä saadaan valmiiksi, voidaan toimivaksi todettua tehtävää hyödyntää tarvittaessa pohjana muissa kuljetuksissa muuttamalla vain pieniä osia tehtävän sisällä.

Ennen työn aloittamista suunnitelmana oli luoda yksi tehtävä, jota voitaisiin käyttää kaikkien isojen osien kuljetukseen hyödyntämällä muuttujia.

Tehtäväsuunnittelun aloitukseen haluttiin valita iso osa, jonka automatisoinnin toteutusta on helppo seurata. Aikakriittisten osien A ja B tuontitiheys tarkoitti

näiden olevan hyvät vaihtoehdot ensimmäiseksi osaksi. Toinen valintaan vaikuttava kriteeri oli kohdeaseman sijainti. Materiaalikärryjen ja robottien vaatima tilantarve on tuotannossa alueellisesti rajaava tekijä, joten kohteen ympäristön tuli olla ensimmäistä ja tärkeintä tehtäväsuunnittelua varten sopiva.

Ensimmäiseksi automatisoitavaksi materiaalikuljetusosaksi valittiin osa A. Osan tarve tuotannossa on aikakriittisyytensä vuoksi toistuvaa, jolloin on mahdollista saada tarkempia ajan mittauksia ja testejä voidaan seurata. Lisäksi työasema, jolle nämä isot osat kuljetetaan, sijaitsee tuotantolinjan alkupäädystä (kuva 9). Aseman ympäristö on tilava, mutta liikennöity. Tätä aluetta on käytetty kyseisen aseman materiaalipuskurina. Tällä tarkoitetaan materiaalikärryjen varastoimista alueella työaseman myöhempää käyttöä varten. Puskurikärryjen uudelleensijoittaminen ja alueen järjestely mahdollistaisi mobiilirobottikuljetukselle sopivat paikat.

Ensimmäisen ison osan tehtäväsuunnittelu käynnistyi valitsemalla kuljetukseen sopivat nouto- ja vientipaikat varastosta ja tuotannosta. Varastoon oli aikaisemmin luotu Fleet-järjestelmään mahdollisia kärryjen noutopaikkoja. Näitä pystyttiin käyttämään tehtävänluonnissa apuna. Sillä tehtäviä luotaisiin yksi kerrallaan ja tehtävien muokkaaminen sovelluksessa on yksinkertaista, ei ensimmäistä tehtävää varten valitun paikan tarvinnut olla lopullinen.

Välitilojen jälkeinen alue varastossa oli varattu AMR-projektin käyttöön, joten kärrypaikat oli sijoitettava tänne. Tehtävän perusrakenteena oli tuoda tyhjä materiaalikärry tuotannosta varastoon, eli tyhjälle kärrylle tarvittiin tuontipaikka varastosta. Tyhjän materiaalikärryn varsinainen tuontipaikka luotiin reittisuunnittelussa, mutta tehtävänluonnissa käytettiin apuna uudelleennimettyjä kartalle aikaisemmin tehtyjä kärrypaikkoja.

6.3.1 Osa A:n kuljetustehtävä

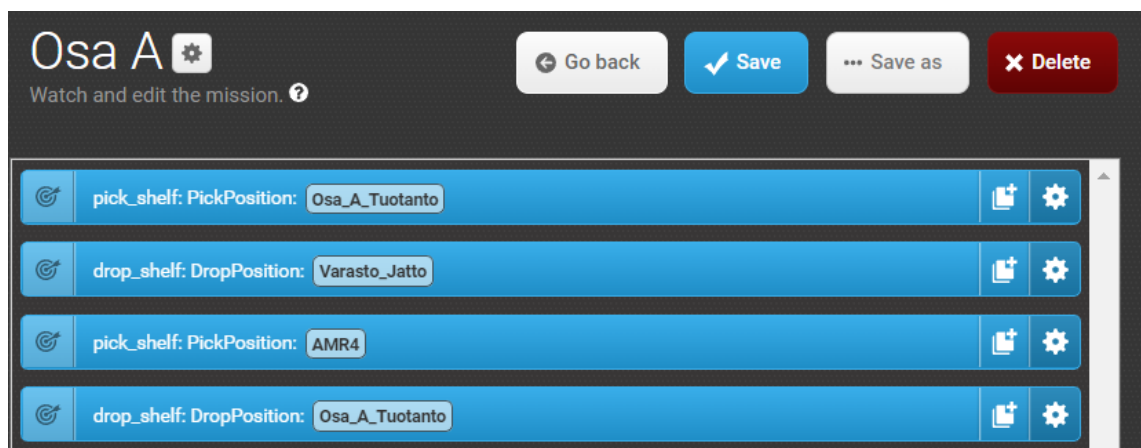
Ensimmäisessä materiaalikuljetustehtävässä toteutus tehtiin mahdollisimman yksinkertaisesti. Kun nouto- ja vientipaikat oli valittu varastosta ja tuotannosta,

voitiin käyttää toimittajan valmistamia alitehtäviä kuljetustehtävän tekemisen apuna.

Alkuperäisen suunnitelman mukaan ensimmäinen tehtävä toteutettiin seuraavasti:

1. Robotti noutaa tyhjän materiaalikärryn tuotannosta
2. Robotti jättää tyhjän materiaalikärryn varastoon
3. Robotti poimii täyden materiaalikärryn varastopaikalta
4. Robotti vie täyden materiaalikärryn tuotantopaikalle

Tuotannossa tyhjän materiaalikärryn noutopaikkana ja täyden materiaalikärryn tuontipaikkana käytettiin samaa sijaintia, kuten kuvasta 15 on nähtävissä. Kuvan 15 tehtävämoduulit pick_shelf ja drop_shelf ovat toimittajan luomia alitehtäviä.



Kuva 15. Osa A tehtävän alkutilanne.

Pick_shelf alitehtävässä mobiilirobotti liikkuu sille määrättyyn pisteeseen, josta kärry haetaan. Alitehtävässä on käskyt myös kärryn poiminnalle. Näihin käskyihin sisältyy kärryn alle asemointi ja varovaisesti ajaminen, kiinnitysmoduulin siivekkeiden avaaminen, footprintin kasvattaminen ja noutopaikalta pois peruuttaminen.

Drop_shelf alitehtävä toimii samalla tavalla kuin pick_shelf alitehtävä. Robotti suunnittelee kulkureittinsä vientipaikalle ja suorittaa alitehtävän sisäiset käskyt.

Vientipaikalla robotti asemoi itsensä paikan koordinaatteja vastaavasti, ajaa varovaisesti paikalle, vetää kiinnitysmoduulin siivekkeet takaisin sisäänsä, pienentää footprinttinsa takaisin ja peruuttaa varovasti kärryn alta pois.

Näiden tehtävien toistoilla voidaan suorittaa tyhjän ja täyden kärryn nouto sekä vienti muokkaamalla lähtötietojen paikkoja. Kuten kuvasta 15 näkyy on kumpaakin alitehtävää käytetty kahdesti, mutta lähtötietojen paikkoja on käytetty kolmea. Osa_A_Tuotanto kuvastaa tässä työssä sitä tuotannon sijaintia, josta tyhjä kärry haetaan ja johon täysi kärry viedään. AMR4 vastaa valittua täyden kärryn noutopaikkaa varastossa ja Varasto_Jatto taas varaston puolen tyhjän materiaalikärryn vientipaikkaa.

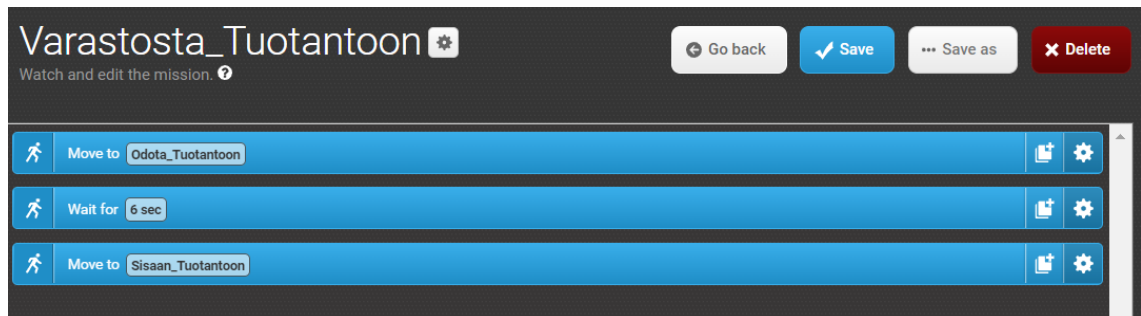
6.3.2 Välitila-alitehtävä

Koska tuotanto on luokiteltu puhtaaksi tilaksi, oli mobiilirobottien toiminta suunniteltava siten että robotit eivät pitäisi välitilan ovia yhtä aikaa auki. Tämän ratkaisemiseksi muodostettiin alitehtävä, joka määräisi robotin pysähtymään välitilan keskellä ja odottamaan kunnes edellinen ovi sulkeutuu.

Ovien aukeaminen tapahtuu signaalimoduulialueiden kautta ja sulkeutuminen viiden sekunnin aikaviiveen myötä. Tehtäväsuunnittelussa oli huomioitava ovien sulkeutuminen, halutun toiminnon toteuttamiseksi. Ovien aukaiseminen liittyy reittisuunnitteluun.

Välitilan kulun kaksisuuden vuoksi tarvittiin kaksi tehtävää välitilaa varten. Toinen tehtävä varastosta-tuotantoon ja toinen takaisin tuotannosta-varastoon. Tehtävät voivat muuten olla identtisiä, mutta reititystä varten suunnat on jaettava.

Jotta mobiilirobotti saadaan pysähtymään välitilaan, oli luotava ajopisteitä. Näihin pisteisiin robotti ajaa ja suorittaa sitten seuraavat tehtävän vaiheet. Välitilaan luotiin pisteet Odota_Tuotantoon, Odota_Varastoon, Sisaan_Tuotantoon ja Sisaan_Varastoon. Odota- ja Sisaan-pisteiden välimatkaksi asetettiin yksi metri.



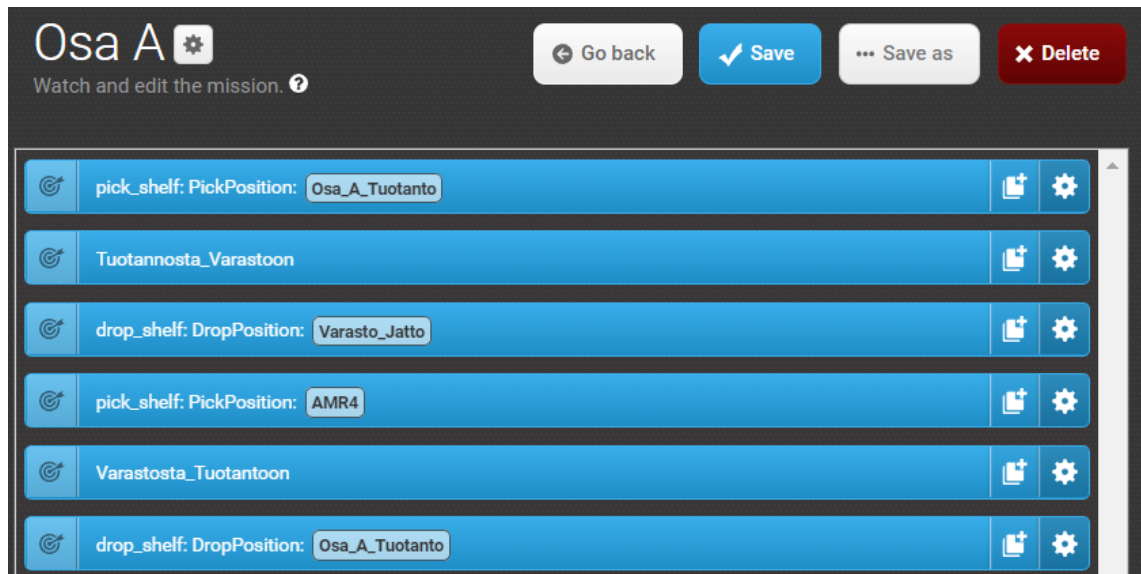
Kuva 16. Välitila-alitehtävän valmis rakenne.

Yksinkertainen tehtävä luotiin käyttämällä 'Move'-liikekäskyä ja 'Wait'-odotuskäskyä. Kuvasta 16 nähdään kuinka välitilan odotustehtävä on rakennettu varastosta tuotantoon kuljettaessa. Robotti saa käskyn liikkua odotuspisteeseen välitilan sisällä, robotti jää tämän jälkeen paikalleen suorittamaan odotuskäskyä ja asetuksen mukaisesti odottaa tässä kuusi (6) sekuntia. Edellisen oven sulkeutuminen alkaa tässä vaiheessa ja robotti voi siirtyä seuraavalle pisteelle. Sisaan_Tuotantoon lähestymispiste on sijoitettu siten, että robotti liikkuu seuraavan oven avaavalle signaalimoduulialueelle. Välitilan alue on lyhyt, joten on huolehdittava siitä, ettei robotti törmää välioviin kulkiessaan välitilan läpi tai jää alueelle jumiin laukaistessaan omat turvatoimintonsa ollessaan liian lähellä esteitä.

Välitilatehtävä tuotannosta varastoon toimii täysin samanlaisesti kuin kuvan 16 tehtävä. Erona ovat liikekäskyn lähtötiedot, mitkä on asetettu vastaamaan toisen suuntaisia ajopisteitä.

Välitila-alitehtävän lisääminen tehtävärakenteeseen

Välitila-alitehtävät lisättiin Osa A-tehtävään niihin toiminnallisiin käyttökohtiin, joissa välitila-alitehtävä haluttiin suorittaa. Kuvasta 17 nähdään kuinka alitehtävät on sijoitettu kuvan 16 tehtävän tehtävämoduulien väleihin.



Kuva 17. Välitila-alitehtävä lisätty Osa A kuljetustehtävään.

Alitehtävää ei voitu lisätä tehtävän alkuun tai loppuun, sillä ei voida olla varmoja onko robotti tehtävän saadessaan varastossa vai tuotannossa. Tässä tapauksessa voisi käydä niin, että tehtävän saadessaan robotti kiertää tuotannon kulkuväylien kautta turhaan varastoon päästäkseen alitehtävän ajopisteiden kautta. Kun robotille annetaan ensin käsky hakea kärry otetaan se hyväksyttäväksi riskiksi, että robotti ilman kärryä ajaessaan avaa kuitenkin välitilan ovet samanaikaisesti.

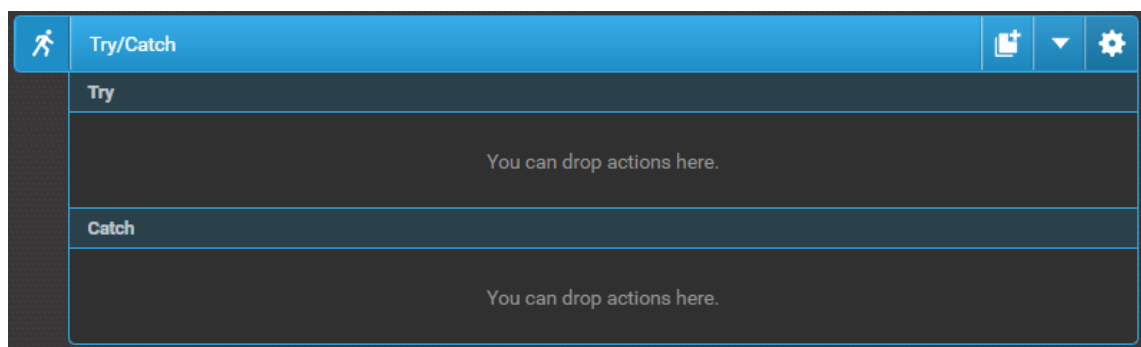
6.3.3 Tyhjän kärryn vientilogiikan parantaminen

Suunnitelman mukaisesti useammat mobiilirobotit tulevat työskentelemään samanaikaisesti varaston tyhjen materiaalikärryjen vientialueen läheisyydessä. Tästä syystä tulee varautua tilanteeseen, missä useampi robotti saattaa olla tuomassa kärryjä samalle paikalle. Varaston kiireiden vuoksi on mahdollista, että aikaisemmin palautettua kärryä ei ole ehditty siirtää vientipaikalta pois. Tällöin kärry varaa sijainnin ja näkyy seuraavaksi tulevalle robotille esteenä eikä tämä pääse jättämään kärryä suunnitellusti vientipaikalle.

Vientialueen toimintaa päätettiin parantaa lisäämällä varastoon materiaalikärryn vientipaikan vierelle toinen vientipaikka. Robotin tehtävärakenne haluttiin luoda siten, että robotti menisi ensin ensisijaiselle vientipaikalle. Mikäli tämä paikka olisi estetty, esimerkiksi toisella materiaalikärryllä, yrittäisi mobiilirobotti seuraavaksi viedä tyhjän kärryn viereiselle vientipaikalle. Tilanne jossa molemmat vientipaikat olisivat täynnä, ratkaistaisiin tilanne määräämällä robotti pudottamaan kärry siihen sijaintiin missä robotti sillä hetkellä on.

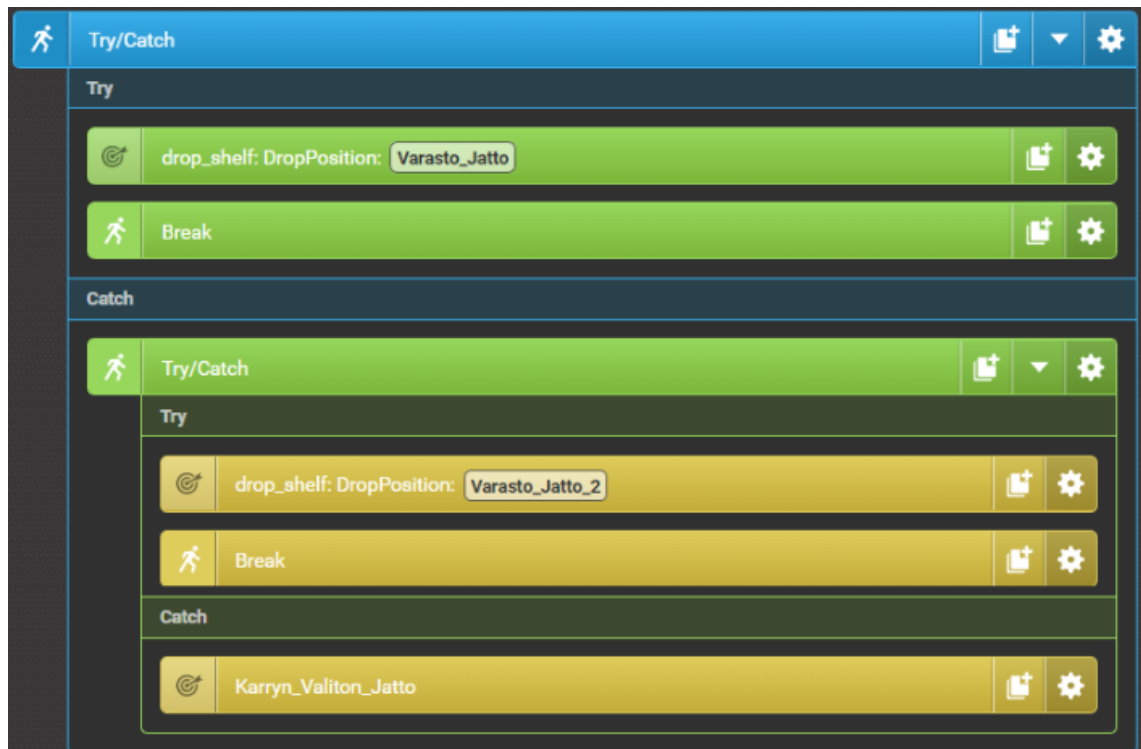
Varastotyöntekijöiden tulisi tällöin reagoida ruuhkautuneeseen vientialueeseen ja tehdä tänne tilaa.

Osa A-tehtävän rakenteen (kuva 17) parantamiseksi lisättiin käyttöön Try/Catch-tehtävämoduuli. Try/Catch-toiminto toimii automaattisesti siten, että tehtävän alle annetaan vaihtoehdot suorittamiselle. Kuvasta 18 nähdään tyhjän Try/Catch-tehtävämoduulin rakenne.



Kuva 18. Try/Catch tehtävämoduulin esimerkkipohja.

Robotti suorittaa Try-ikkunan olevat tehtäväkomennot ensiksi. Jos näitä ei pystytä suorittamaan, kuten estyneen reitin vuoksi, siirtyy mobiilirobotti kolmen (3) yrityksen jälkeen Catch-ikkunan tehtäväkomentoihin. Try/Catch-tehtävämoduuleita voidaan myös sisällyttää toisten Try/Catch-tehtävämoduulien alle, kuten tämän opinnäytetyön tapauksessa. Try-ikkunan tehtävämoduulin lisäksi järjestelmä vaatii 'Break'-lopetuskomennon ymmärtääkseen lopettaa Try/Catch-tehtävämoduulin suorittamisen. Ilman tätä komentoa suorittaisi robotti automaattisesti myös Catch-ikkunan tehtävämoduulit.

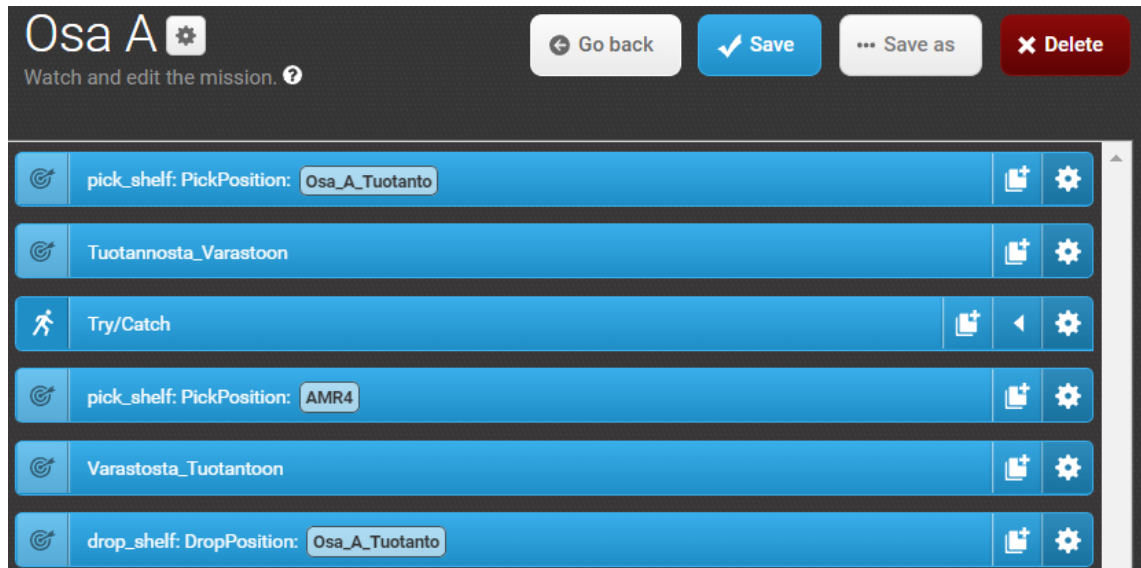


Kuva 19. Tyhjän karryn palautusta parantava Try/Catch tehtävämoduuli.

Kuvassa 19 on kuvattuna Osa A-tehtävässä käytetty Try/Catch-tehtävämoduulin rakenne. Ensimmäisessä Try-ikkunassa robotti saa käskyn pudottaa karry ensimmäiseen vientipaikkaan. Jos tämä ei onnistu, siirtyy robotti seuraavaan Catch-ikkunaan. Catch-ikkunan alla on toinen Try/Catch-tehtävämoduuli, jonka Try-ikkunassa robotti siirtyy viemään karryä toiselle vientipaikalle. Mikäli tämä ei onnistu, suorittaa robotti viimeisen Catch-ikkunan karrynvientitehtävämoduulin.

Karryn_Valiton_Jatto-tehtävämoduuli on drop_shelf-alitehtävästä muokattu alitehtävä. Drop_shelf-alitehtävä vaatii toimiakseen vientipaikan sijainnin lähtötietoihinsa. Tämä vaatimus on poistettu Karryn_Valiton_Jatto-alitehtävästä. Muuten alitehtävä on toiminnaltaan täysin identtinen. Ilman tätä lähtötietovaatimusta, saadaan robotti toimimaan siten, että tämä suorittaa karryn pudotuksen siihen sijaintiin missä robotti kyseisellä hetkellä on ja peruuttaa karryn alta pois.

Try/Catch-tehtävämoduulin kanssa Osa A-tehtävän rakenne vastaa kuvan 20 esittämää mallia. Kuvassa Try/Catch-tehtävämoduuli on pienennetty selkeyttämään luettavuutta.



Kuva 20. Osa A kuljetustehtävän valmis ensiversio.

7 Reittisuunnittelu

Materiaalikärrykuljetuksien reittien suunnittelussa ja toteutuksessa käytetään työkaluna robottivalmistajan omaa MiR Fleet-sovellusta. Reitityksessä on otettava huomioon muu tuotannossa ja varastossa kulkeva liikenne, turvallisuus sekä toiminnallinen tehokkuus.

Reitityksien luominen toteutetaan liikennejärjestelyjen mukaisella periaatteella noudattaen liikesuuntia. Suunnittelussa on varauduttava huomioimaan mahdolliset liikenteen pullonkaulat ja riskialueet. Tehokkaaseen liikenteeseen vaikuttavat tuotantoalueen rajoitteet. Kapeat käytävät ja yksisuuntaisuus aiheuttavat haasteita ideaalisen toteutuksen valmistamiseen, joten kompromisseja on valmistauduttava tekemään.

7.1 Fleet reitityksen toiminta

Taulukoon 3 on listattu MiR:in (Mobile Industrial Robots 2021) kuvaukset Fleet-järjestelmän käytettävistä kartoituksen alue- ja reititysvaihtoehdoista, joilla reititykset ja robottien liikkumisen ehdot luodaan.

Valittu alue luodaan kartalle ja tarvittaessa tälle asetetaan halutut asetukset, mikäli alueelle näitä voidaan asettaa. Osa taulukon 3 alueista voivat pitää sisällään useita ohjeistuksia/asetuksia.

Taulukko 3. Fleet kartoituksen alue- ja reititysvaihtoehdot ja selitykset (Mobile Industrial Robots 2021).

Alue	Selite
Walls ja floors	Luodaan mobiilirobottien kartta ja alue, jolla nämä liikkuvat.
Positions ja Markers	Luodaan karttaan merkit kärryapaikoille, latureille ja ajopisteille.
Directional zones	Luodaan yksisuuntaisen alueen, tällä voidaan estää epätoivotut liikeradat ja toteuttaa yksi- tai kaksisuuntainen liikenne.
Preferred zones	Reittejä tai kenttiä, joiden kautta mobiilirobotti pyrkii suunnittelemaan reittinsä.
Unpreferred zones	Rajataan reittejä tai alueita. Robotti välttää aluetta, mutta saa liikkua tänne.
Forbidden zones	Estävät robotin menon ja toiminnan kielletyillä reiteillä tai alueilla. Robotti ei saa liikkua tänne.
Critical zones	Auttaa robottia navigoimaan ahtaista käytävistä, tai sellaisista alueista joilla saattaa olla esteitä robotin turva-alueiden läheisyydessä.
Speed	Luodaan nopeusrajoituksia, joilla robotti voi kulkea vain käyttäjän asettamalla maksiminopeudella.
Sound and light zones	Luodaan kenttiä, joissa käyttäjä voi asettaa robotin pitämään ääntä tai vilkuttamaan valoja näkyvyyden ja huomioonin parantamiseksi.
Planner zones	Asetetaan useita käytännöllisiä ohjeistuksia. Yhdelle planner zonelle voidaan asettaa useampi toteutettava ohjeistus samanaikaisesti.
I/O module zones	Robotti suorittaa signaalimoduulikomentoja täällä ollessaan, esimerkiksi välitilan ovien aukaiseminen toteutetaan näillä.
Limit-robots-zones (Fleet)	Luodaan kenttiä, joille sallitaan vain käyttäjän asettama robottimäärä.
Evacuation zones (Fleet)	Luodaan alueet, joihin robotit evakuoituvat saadessaan evakuointikäskyn järjestelmältä.

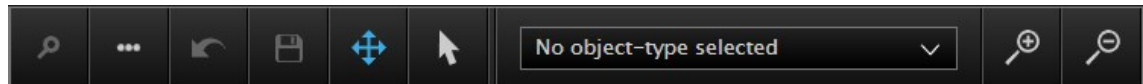
Taulukon 3 alue Planner zones pitää sisällään useita asetusvaihtoehtoja. Useampaa planner zone asetusta voidaan käyttää yhdellä alueella. Tässä opinnäytetyössä käytetään erilaisia planner zone asetuksia, joiden selitykset on kirjattu taulukkoon 4 MiR:in (Mobile Industrial Robots 2021) ohjekirjan perusteella.

Taulukko 4. Planner zone alueiden asetukset ja selitykset (Mobile Industrial Robots 2021).

No-localization	Robotti ei käytä antureitaan navigoimiseen tai asemointiinsa, vaan navigoi rengasliikkeidensä perusteella.
Look-ahead	Voidaan lyhentää aluetta, jonka robotti näkee antureillaan kulkiessaan eteenpäin.
Path timeout	Aika, jonka robotti odottaa esteen kohdatessaan, kunnes laskee itselleen uuden reitin. Tällä asetuksella voidaan myös estää reitin uudelleenlaskeminen.
Path deviation	Matka, jonka robotti saa poiketa laskemaltaan reitiltä.
Ignore obstacles	Robotti ei välitä edessään näkyvistä esteistä, ennen kuin ne ovat osumisetäisyydellä.
Obstacle history	Robotin muistiin voidaan tallentaa usein toistuvat esteet, jolloin näiden varominen tulevaisuudessa helpottuu. Alueella voidaan myös estää nämä tallennukset.

7.2 Reititysten ja alueiden tekeminen

Fleetin Maps-asetusvalikosta aukeaa kartanmuokkaussovellus. Sovellus avaa tallennetun karttapohjan, tämän työn tapauksessa tuotannon skannattu pohjakartta, johon muutokset ja lisäykset tehdään. Karttanäkymän ylälaudassa on kuvan 21 mukainen työkalupalkki. Työkalupalkin valikkorivin pudotusvalikosta aukeaa taulukon 3 mukainen lista, josta käyttäjä valitsee lisättävän tai muokattavan alueen.



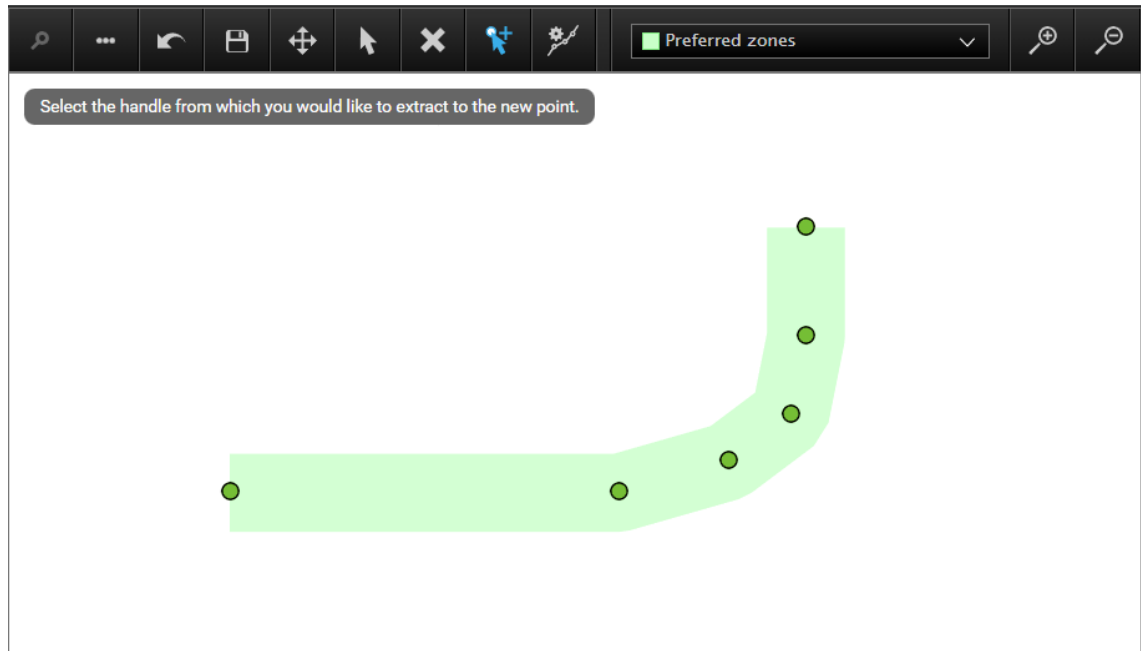
Kuva 21. Karttasovelluksen työkalupalkki.

Kun alue on valittu, muuttuvat työkalupalkin kuvakkeet vastaamaan tämän alueen asetuksia. Kuva 22 esittää esimerkkitapaukset kahden eri alueen työkalupalkkien kuvakkeista ja asetuksista. Kuvakkeet mahdollistavat alueiden valitsemisen, poistamisen, muotojen ja viivojen piirtämisen sekä kuvakkeiden lisäämisen.



Kuva 22. Esimerkkikuva eri alueiden työkalupalkeista.

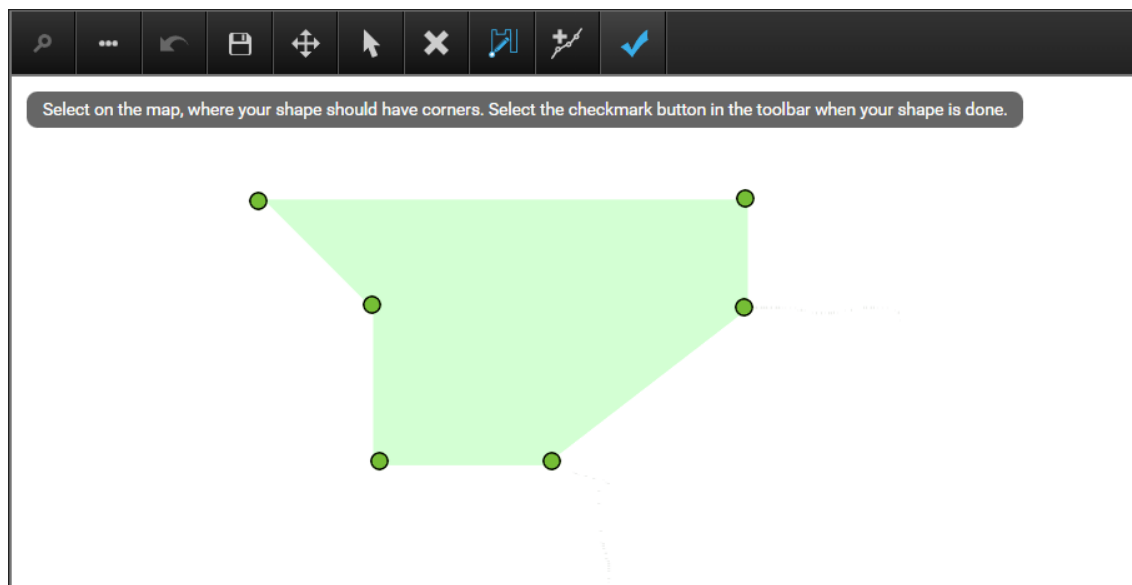
Viivamaisten alueiden ja reittien lisääminen tehdään lisäämällä karttapohjalle yksi piste kerrallaan. Pisteet automaattisesti linkittyvät toisiinsa ja luovat yhtenäisen viivan. Kuvassa 23 nähdään luodut pisteet esimerkkitapauksessa jossa luodaan suora ajoreitti mutkalla. Suorien reittien tekeminen on yksinkertaista kahden pisteen välillä, kun taas mutkien tekeminen kartalle vaatii useamman pisteen laittamista ja pisteiden sijainnin korjausta.



Kuva 23. Esimerkki viivamaisen reitin luomisesta.

Muotojen tekeminen tehdään viivamaisten alueiden ja reittien mukaisesti lisäämällä karttapohjalle pisteitä. Muotojen tapauksessa pisteet linkittyvät siten, että kolmen pisteen lisäämisen jälkeen nämä muodostavat näiden välille valitun alueen.

Pisteitä voidaan tehdä erilaisiin muotoihin sopimaan paremmin käyttötarkoitusta jos alueen halutaan kattavan suurempi pinta-ala kuin tavallinen viivamainen reitti kattaisi. Kuvassa 24 on esimerkkitapaus monimutkaisemman alueen toteutuksesta.



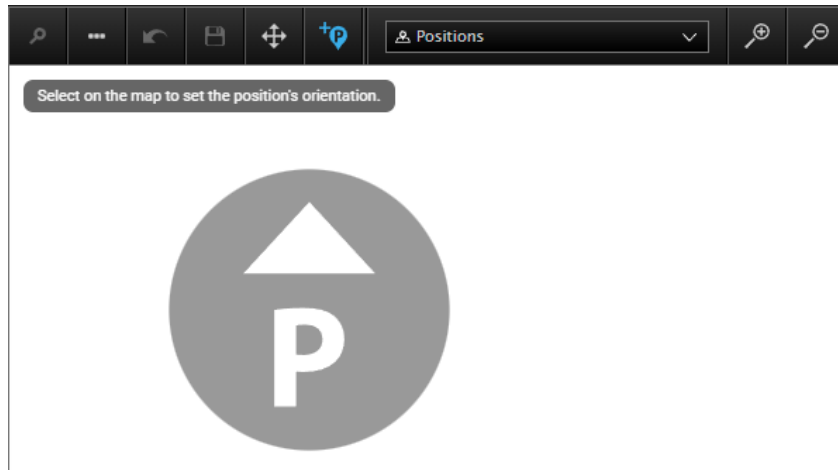
Kuva 24. Esimerkki monimuotoisen alueen luomisesta.

Sekä viivamaisia, että muotoja voidaan muokata myös luomisen jälkeen valitsemalla piirretyn alueen ja siirtämällä kuvissa 23 ja 24 näkyviä pieniä vihreitä pisteitä.

7.3 Merkkien luominen

Positions ja markers (taulukko 3) merkkien tekeminen karttaan tehdään merkkien valinnalla, sillä nämä ovat toisistaan erilliset. Markers merkeillä luodaan kartalle robotin lähestymispisteet, kun käytössä on fyysinen alusta kuten laturipaikka. Markers merkkejä ei käytetä tässä työssä. Positions merkeillä luodaan ajopisteet reiteille ja kärrypaikat kartalle, näitä käytetään tämän työn toteutuksessa.

Kuvan 25 esimerkissä positions merkit on valittu ja merkki luodaan kartalle osoittamalla hiirellä tämän paikka. Tämän jälkeen merkkiä voidaan kääntää haluttuun suuntaan.



Kuva 25. Esimerkki positions merkin luomisesta.

Kun merkki on asetettu halutulle paikalle kartalla voidaan asettaa positions merkin asetukset jotka nähdään kuvassa 26. Asetuksissa merkille annetaan nimi, valitaan merkkityyppi ja voidaan vielä muokata asentoa sekä koordinaatiston mukaista sijaintia kartalla.

A screenshot of a 'Create position' dialog box. The title 'Create position' is in blue. There are four input fields: 'Name' (empty), 'Type' (set to 'Robot position'), 'Orientation from X-axis' (set to 84.289), and 'X coordinate in meters' (set to 167.450). There is also a 'Y coordinate in meters' field (set to 141.700). At the bottom, there are 'OK' and 'Cancel' buttons.

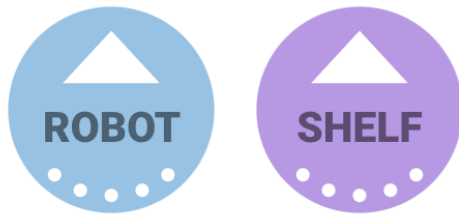
Kuva 26. Esimerkki positions merkkien asetuksista.

Kuvan 26 'Type' pudotusvalikon alta löytyy valittavat merkkityypit positions merkeille. Merkkityyppejä on erilaisiin käyttötarkoituksiin. Tässä työssä käytetään vain taulukon 5 merkkityyppejä.

Taulukko 5. Opinnäytetyössä käytettävät merkkityypit ja selitykset (Mobile Industrial Robots 2021).

Robot position	Ajopiste, jota voidaan käyttää tehtävissä kuvan X mukaisena kohteena tai reititysten apuna Path Guide-ohjeistuksella.
Shelf position	Sijainti, josta voidaan hakea tai jättää kuljetettavaa tavaraa. Tämän työn tapauksessa shelf positioneja käytetään materiaalikärryjen vienti- ja noutopaikkoina.

Kuvasta 27 nähdään robot position ja shelf position (taulukko 5) merkkityyppien visuaalinen eroavaisuus karttasovelluksessa.



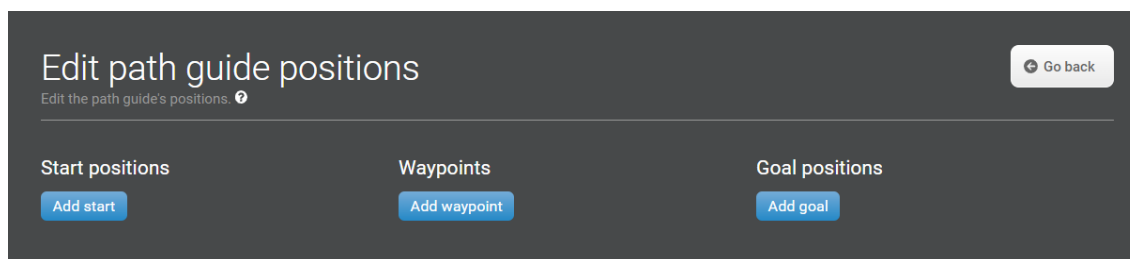
Kuva 27. Opinnäytetyössä käytettyjen positions merkien visuaalinen ero.

7.4 Path Guides

Path guides asetuksilla ohjeistetaan mobiilirobotit kulkemaan toivottujen pisteiden kautta. Koska robotti käyttää kartalle luotuja alueita apuna reitin laskemisessa eikä noudata näitä pakonomaisesti, on tarkemmat ohjeistukset luotava näillä asetuksilla kun robotille halutaan luoda ennalta määritelty reitti. Path guide ei pakota tai määrää robottia kulkemaan tiettyä reittiä, vaan nämä ohjeistukset toimivat vahvoina suosituksina, joiden mukaan robotti pyrkii liikkumaan. Mikäli path guidet on luotu huonosti tai tämän apupisteet sijaitsevat

mahdottomalla paikalla liikkeen kannalta, jättää robotti nämä ohjeistukset huomiotta ja liikkuu itse suunnittelemansa kulkureitin mukaisesti.

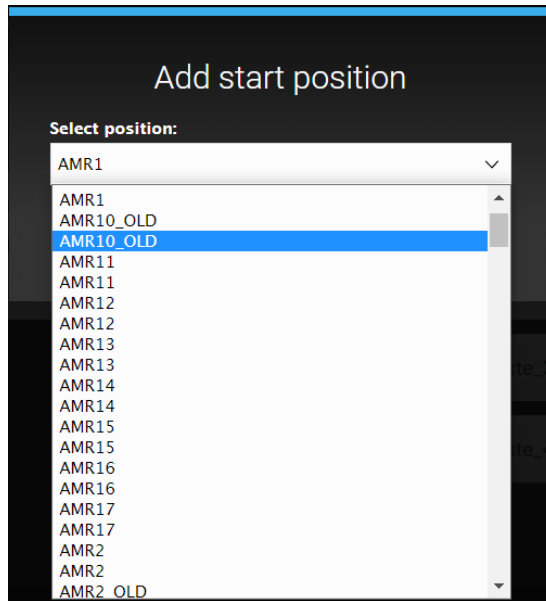
Path guideille ei ole enimmäismäärää, eikä muissa path guideissa käytetyt apupisteet estä näiden käyttämistä muissa path guideissa. Path guideja ei voida kuitenkaan määrätä tietyille roboteille tai robottiryhmille, vaan nämä toimivat yleisinä ohjeina kaikille Fleetissä oleville roboteille. Määrittäminen tapauksille joissa tietyt path guideja käytetään, syntyy näissä käytetyistä apupisteistä.



Kuva 28. Path guiden luomisen alkutilanne.

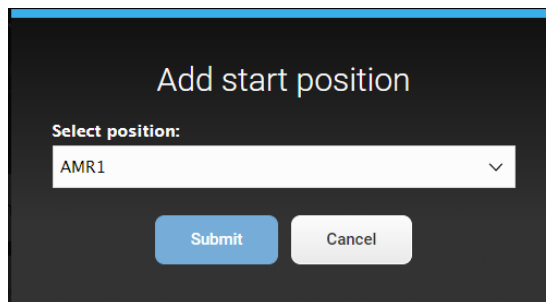
Kuvassa 28 nähdään path guiden luomisen alkuasetelma. Path guidet luodaan määrittämällä tälle alku- ja loppupisteet, sekä näiden välillä kuljetut apupisteet. Kaikkia pisteitä voi olla yhdessä path guidessa useampi kuten kuvassa 31. Kunnollisen toiminnan varmistamiseksi tulisi path guidessa kuitenkin olla vähintään yksi alkupiste ja yksi loppupiste. Apupisteitä on hyvä olla useampi, jotta reitin ohjeistaminen on tarkempaa. Alku- ja loppupisteiden järjestyksellä listassa ei ole merkitystä. Näillä pisteillä kerrotaan roboteille, että jos tehtävä määrää robotin kulkemaan tietyistä alkupisteistä tietyille loppupisteelle, robotti pyrkii suunnittelemaan reittinsä apupisteiden kautta. Apupisteet tulevat listaan siinä järjestyksessä, kuin käyttäjä haluaa robotin näiden kautta kulkevan.

Jokaisen pistelistauksen alla olevasta painikkeesta voidaan lisätä uusia pisteitä path guideen (kuva 28). Pisteet lisätään samalla tavalla näihin pistelistauksiin samasta pistekatalogista. Painamalla esimerkiksi "Add start" painiketta voidaan luoda uusi alkupiste, tämä avaa ponnahdusikkunan minkä kautta valitaan listalta haluttu piste kuten kuvassa 29.



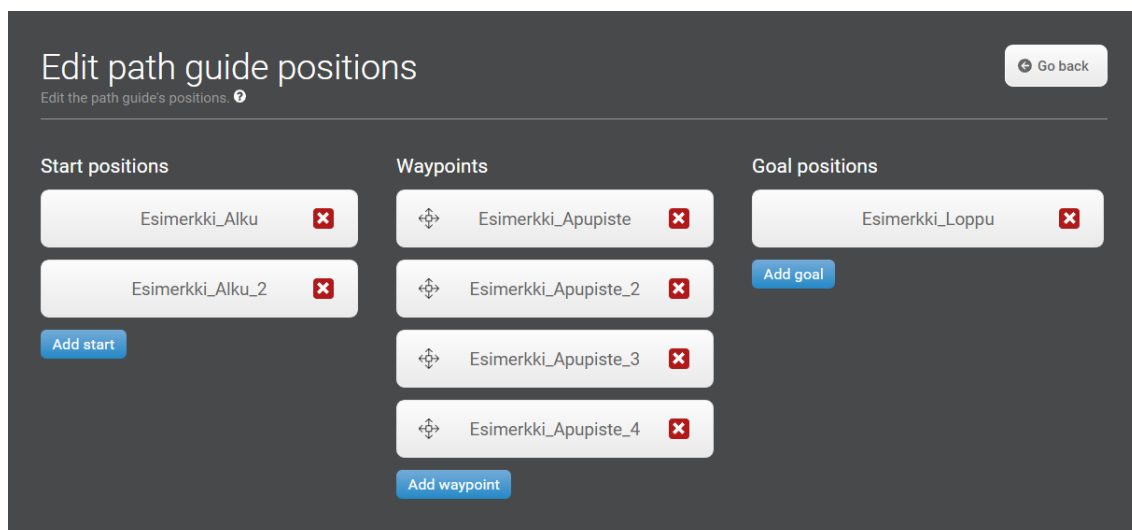
Kuva 29. Esimerkki path guiden pistevalikosta.

Lopuksi piste lisätään path guideen hyväksymällä tämä painamalla "Submit" painiketta kuvan 30 mukaisesti.



Kuva 30. Esimerkki path guide pisteen hyväksymisestä.

Path guideen lisätyt pisteet näkyvät ikkunassa. Alku- ja loppupisteiden järjestystä ei voi vaihtaa, sillä näillä ei ole vaikutusta path guiden toimintaan. Apupisteiden järjestystä voidaan kuitenkin vaihtaa liikuttamalla valittu apupiste haluttuun paikkaan listalla. Kuvassa 31 nähdään esimerkki tapauksesta, jossa path guidelle on annettu kaksi alkupistettä, neljä apupistettä ja yksi loppupiste. Tämän kaltaisessa path guidessa robotti voi siis reitin laskeakseen lähteä kahdesta asetetusta pisteestä kunhan tämän loppupiste vastaa path guiden asetettua loppupistettä. Tällöin robotti kulkisi annetun neljän apupisteen kautta.



Kuva 31. Path guide esimerkki.

Toimivan path guiden luominen vaatii apupisteiden luomista kartalle, jotta nämä voidaan sitten sijoittaa path guiden listaukseen. Kartoituksia ja path guideja luodessa on usein luotava uusia pisteitä reitityksen parantamiseksi, sillä useampi apupiste varmistaa tarkemman ja luotettavamman reitityksen.

7.5 Materiaalikuljetusten reititys

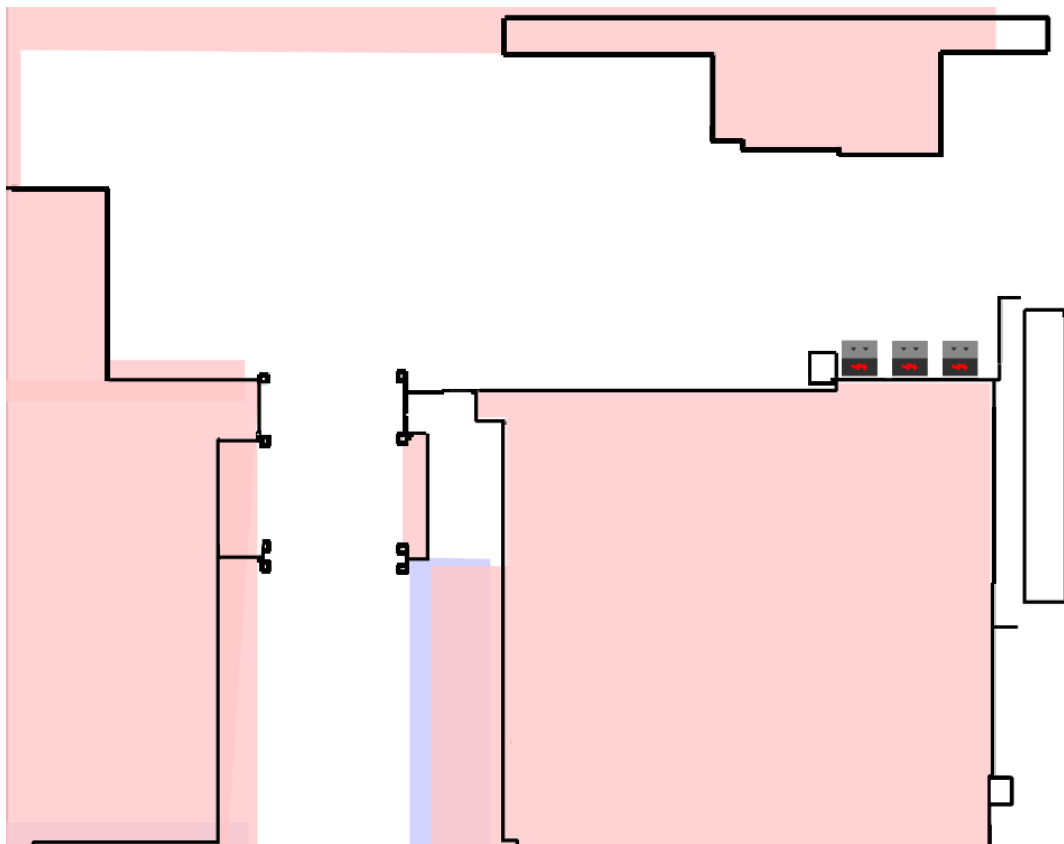
Ensisijaisten kulkureittien luominen materiaalikuljetusta varten voidaan suorittaa kaikille osille samanaikaisesti. Koska liikenteen virtaus halutaan toteuttaa myötäpäivään tuotantolinjan ympäri, kulkevat robotit pääsääntöisesti samoja reittejä. Robottien suunniteltu liikerata on piirretty liitteeseen 1. Liitteen 1 reititys kulkee varastolta kiertäen automatisoitavan tuotantolinjan myötäpäivään. Salon akkutehtaalla jo käytössä olevat mobiilirobotit noudattavat myös samoja kulkureittejä ja liikennemääräyksiä, mikä helpottaa ja nopeuttaa materiaalikuljetusreittien luomista. Liitteestä 3 nähdään Fleet kartan alkutilanne ennen opinnäytetyössä tehtyjä karttamuutoksia. Liitteen 3 Fleet kartassa on aikaisempien mobiilirobottien reititys, jota käytetään tässä opinnäytetyössä apuna. Materiaalikärryjen vientipaikkoja lähestyvät mutkat ja alueet tulee lisätä näiden kohdille.

7.5.1 Varaston ja välitilan reititys

Varastossa liikuttaessa ja varaston sekä tuotannon yhdistävän välitilan läpi kuljettaessa isoja osia kuljettavat mobiilirobotit käyttävät samoja reittejä. Tämän vuoksi näille roboteille luodaan selkeä reititys.

Varaston ja välitilan ahtauden vuoksi on otettava suunnittelussa huomioon montako robottia voidaan päästää kapeille alueille yhtäaikaaisesti ja kulkusuuntien määrittämisellä liikuttaessa on suuri merkitys pullonkaulojen välttämiseksi.

Työn alkuvaiheessa varastossa ei vielä ole reittejä, kuva 32 havainnollistaa varaston reittisuunnittelun lähtötilannetta. Kuvasta 32 nähdään yksinkertaistetut mallit varaston ja välitilan kartan seinistä, esteistä, esiasetetuista alueista ja mobiilirobottien laturipaikat. Alkuperäiset kärrypaikat on poistettu uusien luomiseksi.



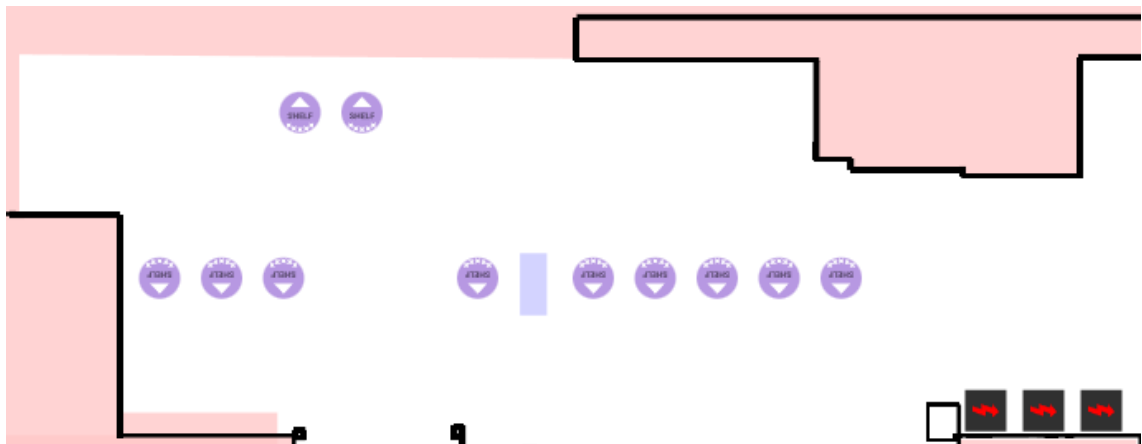
Kuva 32. Varaston ja välitilan lähtötilanne.

Vaaleanpunaiset alueet kuvassa 32 ovat forbidden zone-alueita ja violetit unpreferred zone-alueita.

Reititys aloitettiin lisäämällä karttaan ensisijaiset kärryapaikat, joiden ympärille tehtiin seuraavaksi kulkureitit. Kärryapaikkojen ei tarvinnut vielä olla lopullisia, mutta ne asetettiin niihin sijainteihin, joiden voitiin olettaa toimiviksi.

Kärryapaikkojen sijoittamisessa otettiin huomioon välitilasta tuleva liikenne, sekä varaston läpi kulkeva suojatie. Välitilan kulkureitti jätettiin vapaaksi tämän edestä, kuten myös suojatie. Suojatien päälle tehtiin lyhyt unpreferred zone alue, jotta robotit eivät kulkisi tämän kautta.

Noutopaikkojen jälkeen kartalle lisättiin myös tyhjiä materiaalikärryjen vientipaikat. Vientipaikkojen haluttiin sijaitsevan niin suoraan kuin mahdollista välitilan kulkureitistä. Kuvasta 33 nähdään lisätyt merkit ja alueet. Noutopaikat on nimettiin vasemmalta oikealle järjestyksessä Nouto1, Nouto2,... ja Nouto9.

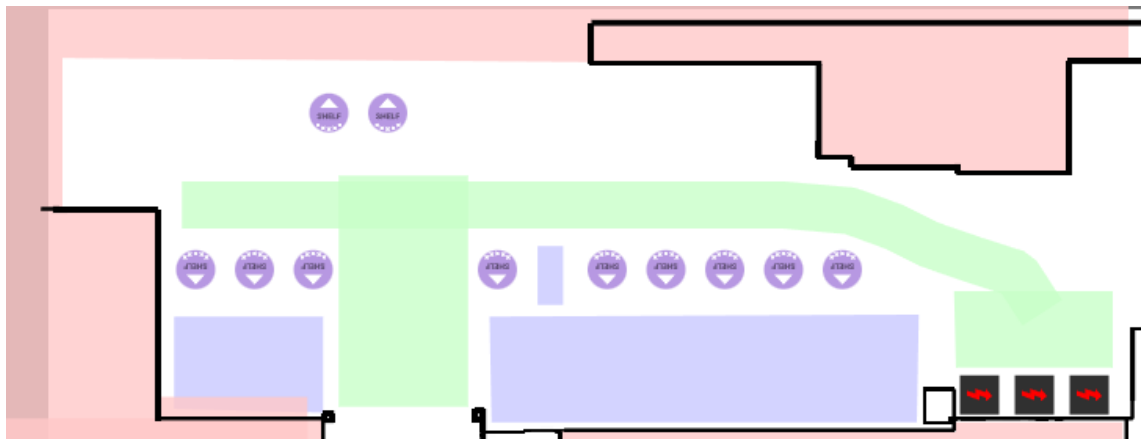


Kuva 33. Varastoon luodut kärryjen noutopaikat.

Materiaalikärryjä on varastossa enemmän kuin noutopaikkoja, puskurikärryjä säilytetään latureiden vasemmalla puolella sijaitsevan seinän edessä. Kärryt estävät robottien liikenteen tämän kautta, joten on kartalla tulee ilmoittaa roboteille etteivät nämä laskisi reittiä seinän puolelta vaan noutopaikkojen takaa.

Suunnitelman mukaan robotit liikkuvat noutopaikkojen ja kuvassa 33 oikeassa yläkulmassa näkyvän hyllykön välistä, kun ne liikkuvat kärryjen, latureiden ja

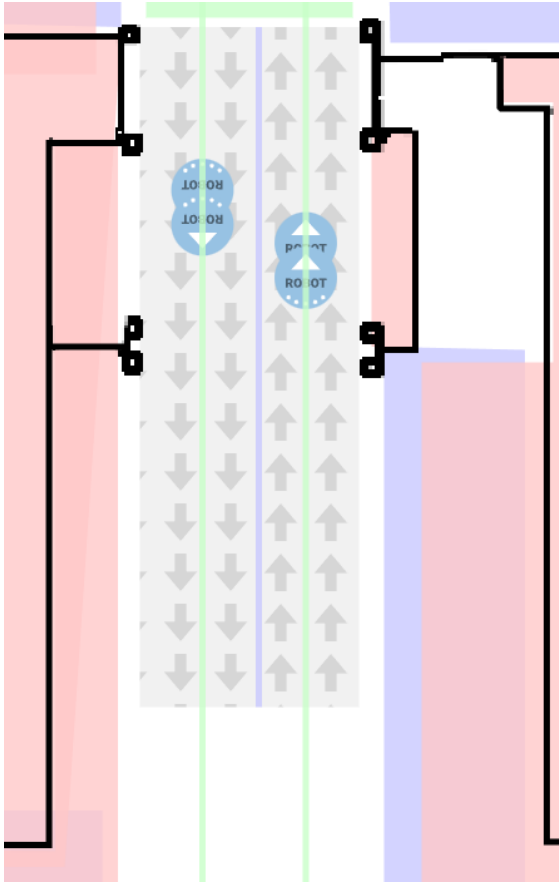
tuotannon välillä. Preferred route reitti luotiin latureilta noutopaikkojen taakse. Välitilasta varastoon tullessa robotit saavat liikkua suoraan, joten luotiin varastoon reitit, joiden kautta robotit liikkuvat välitilaan ja varaston sisällä. Kuvaan 34 on lisätty varaston sisällä kulkevat preferred zone reitit ja unpreferred zone alueet. Koska robotti peruuttaa kärryn noudettuaan kärry paikalta, estettiin jokaisen noutopaikan edusta robottiliikenteeltä luomalla unpreferred zone alueet.



Kuva 34. Varaston reititys.

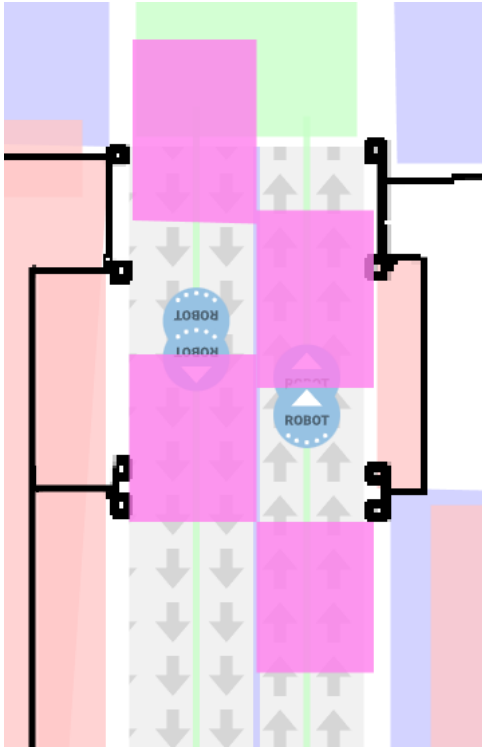
Välitilan reititys

Välitilan kulku oli suunniteltava kaksisuuntaiseksi. Oli oletettavissa tilanne, missä yksi robotti on tulossa varastosta ja toinen palaamassa tuotannosta. Mikäli robotit odottaisivat suoraan välitilan edessä kärryjen kanssa, ei tila riittäisi toisen väistämiseen ja molemmat robotit voisivat jäädä jumiin. Kaksisuuntainen reititys tehtiin kahdella directional zones-alueella, jotka erotettiin kapealla unpreferred zone viivalla. Unpreferred zonea hyödynnettiin tässä siksi, etteivät robotit kesken kuljetuksen loisi uutta reittiä ja ajaisi vastaantulevalle liikenneväylälle. Sillä välitila-alitehtävää varten kartalle oli luotu ajopisteet välitilan sisälle, luotiin preferred zone reitit näiden pisteiden kautta helpottamaan robottien automaattista reittien suunnittelua. Kuvassa 35 nähdään välitila, kun yksisuuntaiset ja suositellut reitit on luotu.



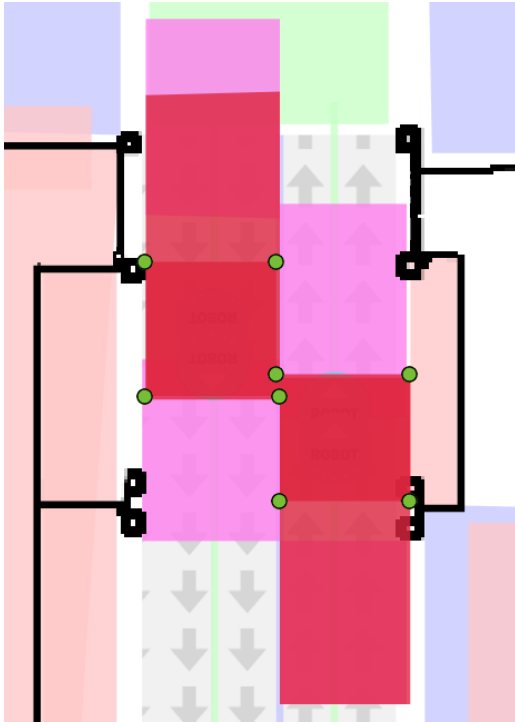
Kuva 35. Välitilan reititys.

Välitilan ovien avaaminen tapahtuu mobiiliroboteilla käyttämällä I/O module zones alueita. Robottien haluttiin avaavan toinen ovi sitä lähestyessä ja auneen oven tulisi sulkeutua välitila-aihehtävän odotusvaiheen aikana. I/O module zonet oli luotava siten, että robotti poistuu alueelta oven jälkeen. Sama alue voi jatkua toisen liikenneväylän puolelle, sillä robotti avaa saman oven myös toiseen suuntaan liikuttaessa. I/O module zone alueet luotiin siten, että kun robotti liikkuu välitilan sisällä ulos johtavalle ajopisteelle, se aukaisee seuraavan oven. Luodut I/O module zonet näyttävät kuvan 36 mukaisilta.



Kuva 36. Välitilan I/O-module zonet.

Robottien liikenopeutta oli myös säädettävä, että nämä eivät lähestyisi liukuovia sellaisella vauhdilla että ovet eivät kerkeisi aukenemaan. Tässä tapauksessa on riski, että robotin hätätila käynnistyy kun este on liian lähellä tai pahimmassa tapauksessa robotti saattaa törmätä oveen. Nopeutta säätävä speed alue lisättiin välitilan sisälle siten, että robotin liike välitilassa on hidasta. Toinen nopeusalue lisättiin aikaisemman alueen päälle siten, että robotin vauhti hidastuu sen lähestyessä ovia joko tuotannosta tai varaston suunnasta saapuessa. Lisätyt nopeusalueet on nähtävissä kuvasta 37. Välitilan sisäisen nopeusalueen nopeudeksi asetettiin 0.3m/s ja väliovia lähestyessä nopeudeksi asetettiin 0.4m/s.



Kuva 37. Välitilan speed alueet.

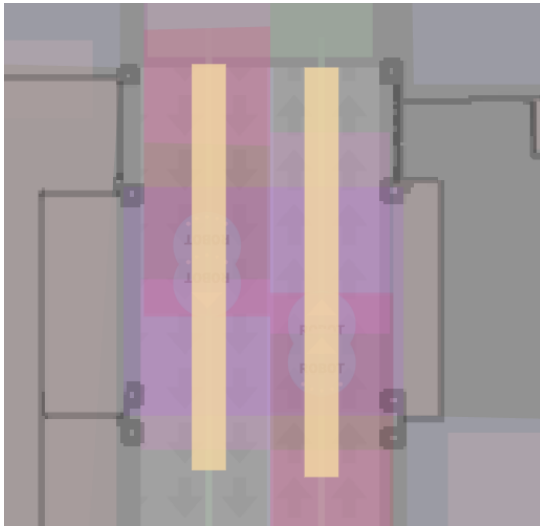
Mobiilirobottien törmäämiseltä välioviin halutaan välttyä, mutta ovien lähelle oli silti roboteilla päästävää että lyhyen välitilan sisällä avaustoiminto toimii ongelmitta. Nopeusrajoituksilla ja välitila-alitehtävän odotuksella minimoidaan riskiä, että robotti vahingossa törmäisi oviin. Robottien turva-alueet ovat materiaalikärryjen kanssa tavallista isommat. Tällöin robotit eivät suostu lähestymään ovia sellaiselle etäisyydelle, että ovet saataisiin sulavasti aukeamaan.

Robotin reitin edessä olevista suljetuista ovista oli mahdollista syntyä kaksi ongelmaa:

1. Robotti näkee esteen ja suunnittelee reitin uudestaan. Tämä ei onnistu, sillä este on yhä edessä ja takana oleva ovi on myös sulkeutunut. Robotti jäisi tällöin välitilaan jumiin. Ohjelmisto saattaa myös pitkän reitin uudelleensuunnitteluaajan jälkeen perua tehtävän kokonaan.
2. Robotin reitti on suunniteltu, mutta robotti ei suostu lähestymään ovea eikä myöskään siksi yllä koskettamaan I/O module zone aluetta, joka

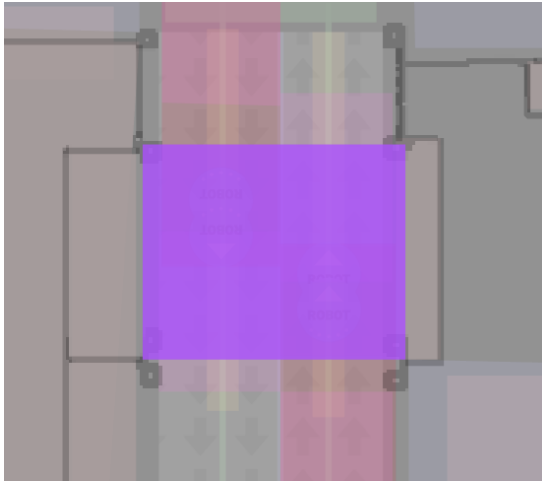
avasi seuraavan oven. I/O module zone alueita ei myöskään voida välitilan sisällä kasvattaa, sillä robotin footprint kasvaa kärryn kanssa. Suuremmalla footprintillä robotti aukaisisi oven liian aikaisin välitilan sisällä, sillä avaus aktivoituu footprintin ollessa alueella.

Ongelmien ratkaisemiseksi välitilaan lisättiin kaksi aluetta. Critical zone alueilla ratkaistiin ongelma 2. Kun robotti on critical zonen sisällä, voi tämä lähestyä edellä olevia esteitä hitaasti. Alue ei kuitenkaan salli robotin ajavan esteen läpi, joten törmäysriski alueesta ei kasva. Lisätyt critical zone alueet nähdään kuvasta 38.



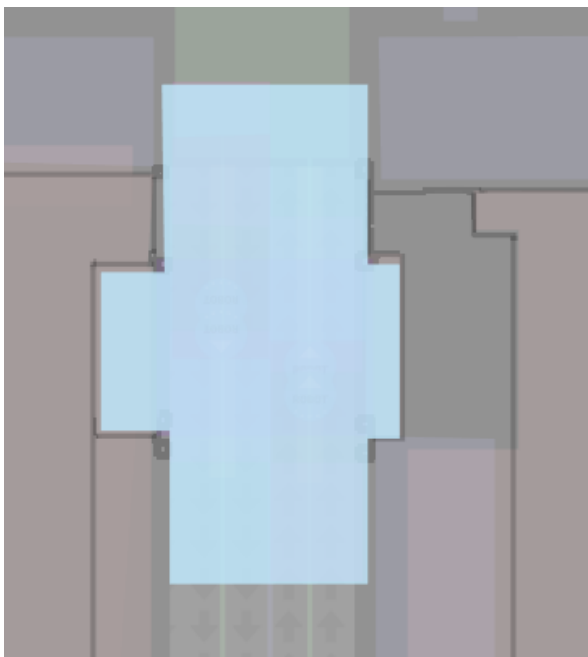
Kuva 38. Välitilan critical zone alueet.

Ongelma 1 ratkaistiin lisäämällä planner zone alue, jossa käytetään asetusta path timeout. Path timeoutin asetuksista odotusaika asetettiin miinus yhteen (-1) sekuntiin, jolloin robotti ei suunnittele itselleen uutta reittiä vaikka aikaisempi reitti olisi estetty. Tällöin robotti jää odottamaan, että este siirtyy robotin edestä. Alueiden lisäämisen jälkeen välitilan reititys nähdään kuvasta 39.



Kuva 39. Välitilan planner zone.

Lopuksi tarvitsi rajoittaa robottien lukumäärää välitilan sisällä ja sitä lähestyessä. Välitila on kapea ja lyhyt, joten sen sisälle ei voida päästää useampaa kuin yhtä robottia. Luotiin limit-robots-zone alue, joka kattoi välitilan sekä sen ulkopuolellet. Alueen robottimääräksi asetettiin yksi (1) robotti. Tällöin kun yksi robotti on tämän alueen sisällä, muut robotit jäävät alueen ulkopuolelle odottamaan alueen vapautumista. Lisätty välitilan limit-robots-zone nähdään kuvasta 40.



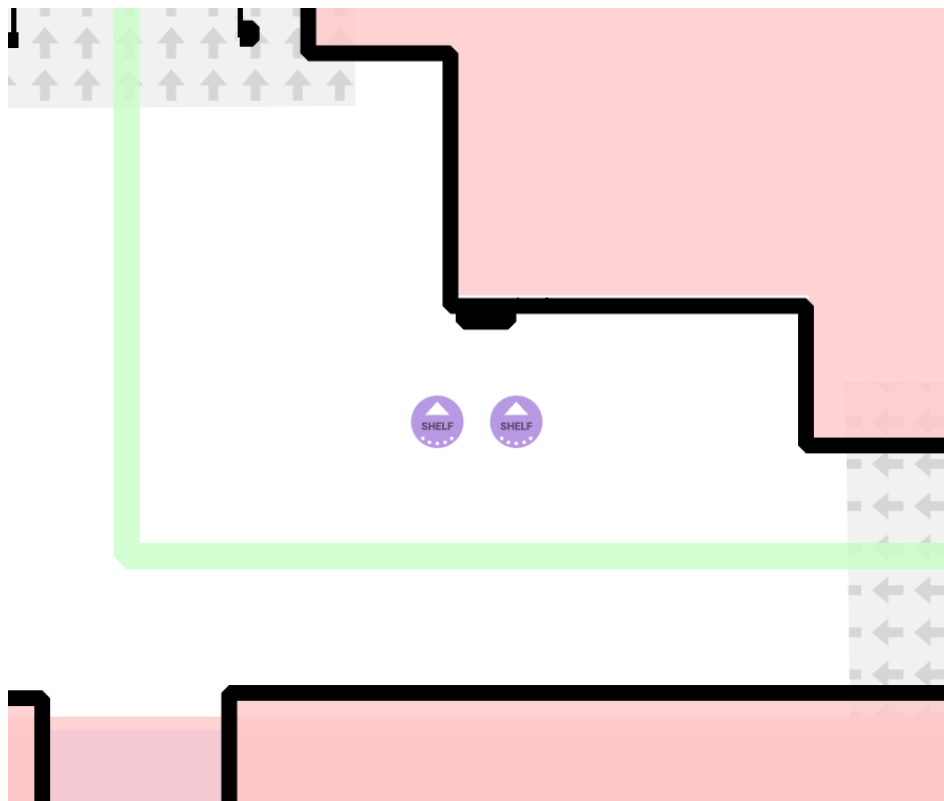
Kuva 40. Välitilan limit-robots-zone.

7.5.2 Osa A ja D materiaalikuljetusreitti

Osien A ja D vientipaikat tuotannossa ovat vierekkäin kuten nähdään kuvasta 9, joten näiden kulkureitti on identtinen. Tällöin voitii reitin suunnittelu luoda osille samanaikaisesti.

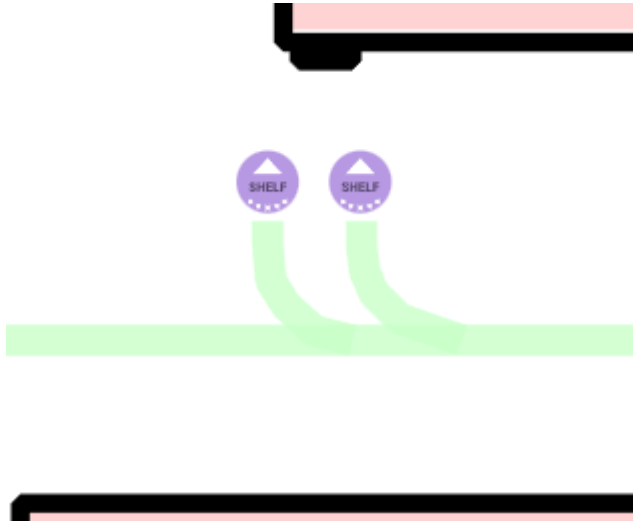
Ensiksi luotiin kartalle paikat, joista robotti käy hakemassa osien A ja D tyhjät karryt sekä tuo täydet materiaalikarryt. Osa A:n paikka luotiin vasemmalle puolelle, osien käyttöaseman sijainnin vuoksi. Osa D:n paikka luotiin osa A paikan viereen oikealle puolelle. Osa D:n käyttöasema sijaitsee suoraan vientipaikan vieressä.

Materiaalipaikkojen sopiva sijainti selvitettiin sovittamalla karry suunniteltuun sijaintiin ja paikoittamalla tämä robotin avulla. Kuvasta 41 nähdään Fleet-kartalle lisätyt materiaalikarryjen tuotannon alustavat paikat.



Kuva 41. Osien A ja D vientipaikat tuotannossa.

Seuraavaksi paikoille tehtiin käännökset preferred routea käyttäen siten, että robotit tulevat paikoille sulavassa kaaressa. Lisätyt käännökset ovat nähtävissä kuvassa 42. Suositusreittien ei tarvinnut ylittää täysin materiaalikärrypaikoille, sillä paikkojen robotti lähestyy näitä noin puolentoista (1.5) metrin päästä paikalle saapuessaan. Kun robotti pääsee tälle etäisyydelle, se liikkuu suoraan kohti hyllypaikkaa.



Kuva 42. Osien A ja D vientipaikkojen käännökset.

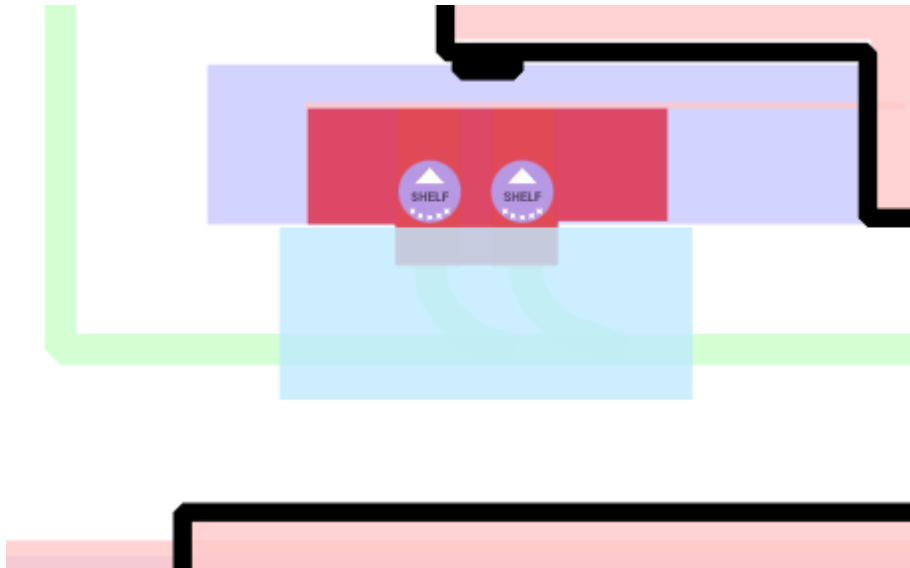
Seuraavaksi luotiin rajaavat alueet siten, etteivät robotit käytä materiaalikärrypaikkojen ympäristöä oikaisevan reitin suunnitteluun. Tämä tehtiin kapealla forbidden zonella ja paikat kattavalla unpreferred zone alueella.

Koska materiaalikärrypaikat sijaitsevat tuotantolinjan robottisolun vieressä, tulevat robotit materiaalikärryjen kanssa lähelle seinää. Materiaalikärryä kuljettaessa robottien voi olla hankala saapua sijaintiin, jonka edessä on este. Tämän helpottamiseksi materiaalipaikoille tehtiin critical zone alueet.

Alueella liikkuu myös tuotantotyöntekijöitä, tämän ja robottisolun läheisyyden vuoksi laskettiin myös robottien kulkunopeutta tällä alueella maksiminopeuteen 0.4m/s.

Alueelle voi lähestyä kaksi eri robottia samanaikaisesti, joten ruuhkautumiselta varauduttiin luomalla vientipaikkoja ennen limit-robots-zone alue. Alueen enimmäisrobottimääräksi asetettiin yksi (1) robotti.

Lisätyt alueet ja sijainnin ulkonäkö muutosten jälkeen nähdään kuvasta 43.

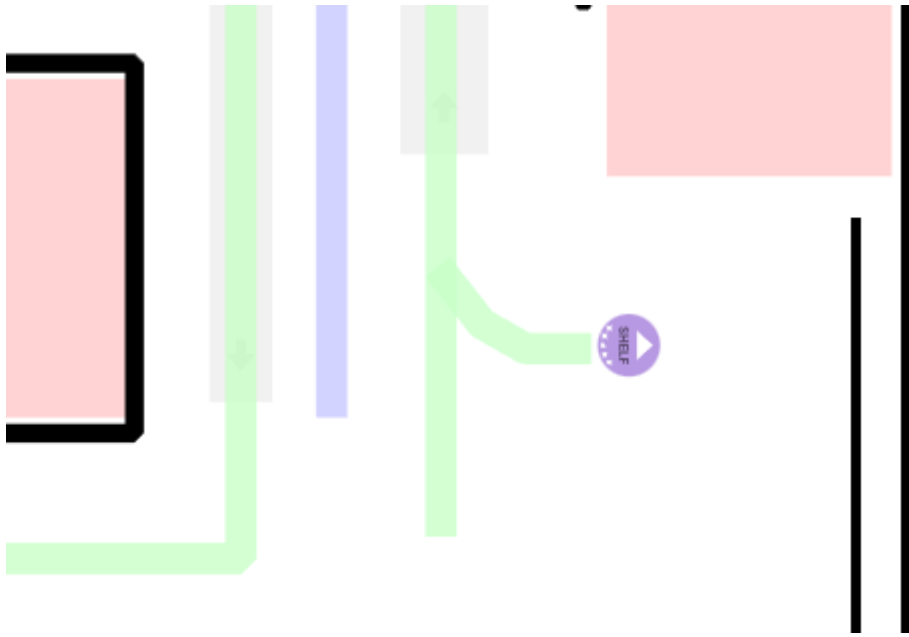


Kuva 43. Osien A ja D vientipaikkojen Fleet alueet.

7.5.3 Osa B materiaalikuljetusreitti

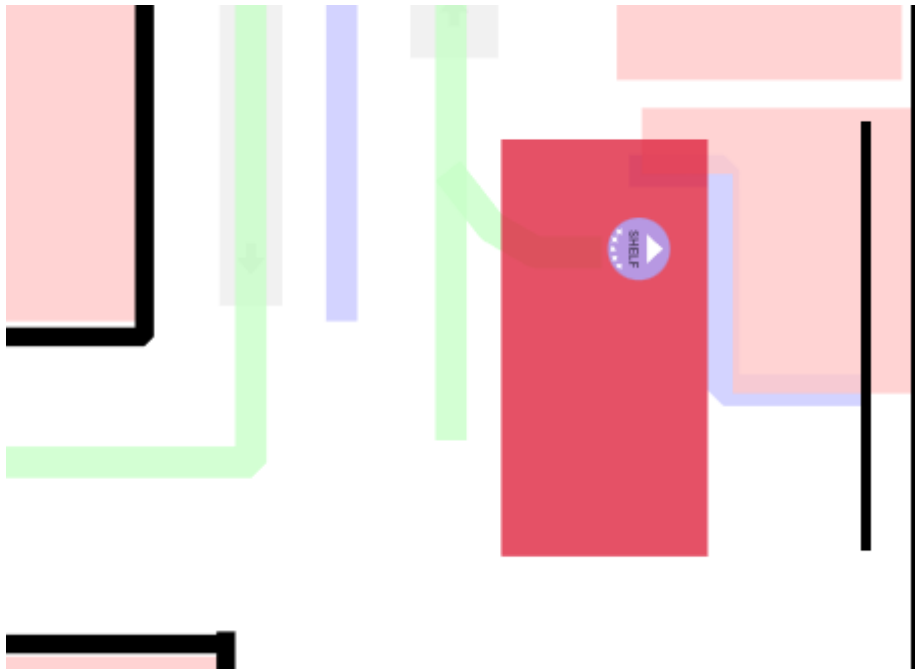
Osa B:n reittisuunnittelussa hyödynnettiin muiden mobiilirobottien reittejä siten, että voitiin luoda tämän kuljetukselle kaksisuuntainen liikenne. Materiaalikärryn tuonti- ja hakupaikka sijaitsee lähellä varastoa ja välitilaa, joten tuotannollisesti oli kannattavaa kulkea tämä lyhyt matka edestakaisin. Lisäksi osa B:n tuotannollinen tarve on suurempi kuin muilla isoilla osilla, joten näitä kuljetuksia tehdään useammin kuin muita kuljetuksia.

Osa A:n tavoin ensin luotiin osa B:lle materiaalikärryn nouto- ja vientipaikka lähelle tuotannon työasemaa. Paikalle luotiin preferred route siten, että robotin on kätevä kääntyä paikalle. Kuvassa 44 nähdään luotu osa B:n paikka ja tälle paikalle johtava reitti.



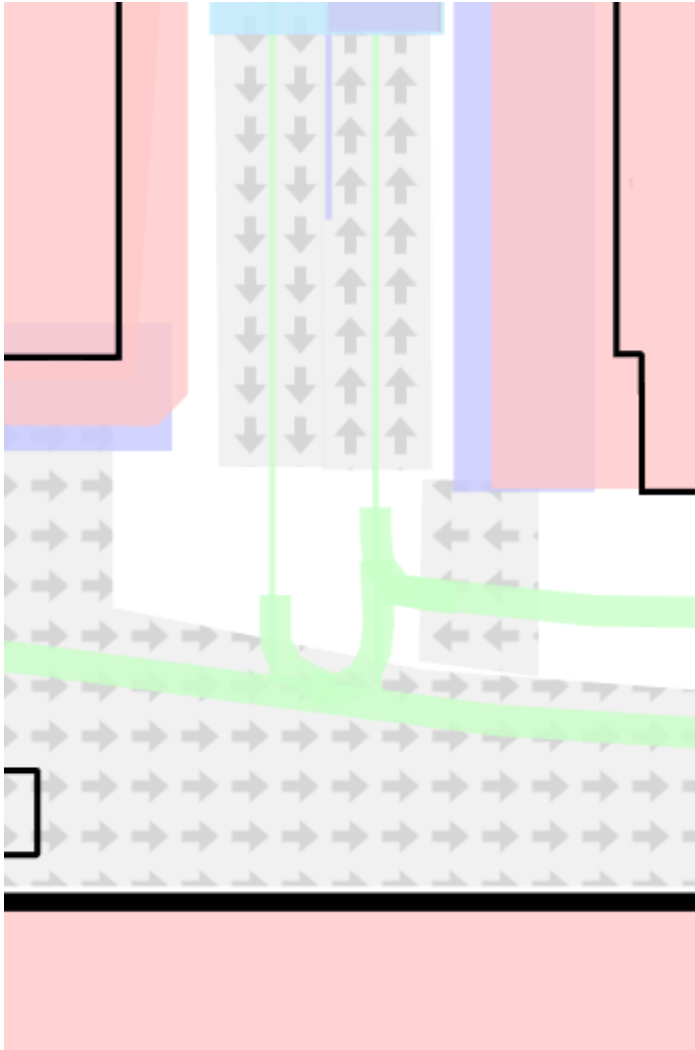
Kuva 44. Osa B vientipaikka ja käänös.

Osa B:n materiaalikärryn paikan läheisyyteen on varattu alue muun tuotantomateriaalin varastoimiselle. Alue oli rajattava, ettei mobiilirobotti aja tai suunnittele reittiä tämän alueen kautta. Lisäksi materiaalipaikan edusta oli rajattava, että estettäisiin robottia ajamasta liian lähelle seinää. Rajaukset tehtiin unpreffered zones ja forbidden zones alueilla, lisätyt alueet nähdään kuvasta 45. Alueella rajattiin robotin liikenopeutta luomalla materiaalipaikan ympärille 0.4m/s maksiminopeuden speed alue (kuva 45).



Kuva 45. Osa B alueen turvaaminen Fleet alueilla.

Välitilaan vievä tuotannon puolinen risteys oli reititettävä siten, että osa B:n kaksisuuntainen liikenne voitiin toteuttaa aiheuttamatta ongelmia robottien automaattisen reitityksen kanssa. Kaistat oli määritettävä yksinkertaisilla directional zones alueilla, sekä luomalla selkeät preferred routet. Preferred routeilla tarkoitus oli saada robottien liikerata risteuksen käänöksissä sellaiseksi, että robotit kääntyvät tarkoitettuun menosuuntaan ilman äkillisiä käänöksiä. Välitilan risteysalue muutoksien lisäyksen jälkeen nähdään kuvasta 46.



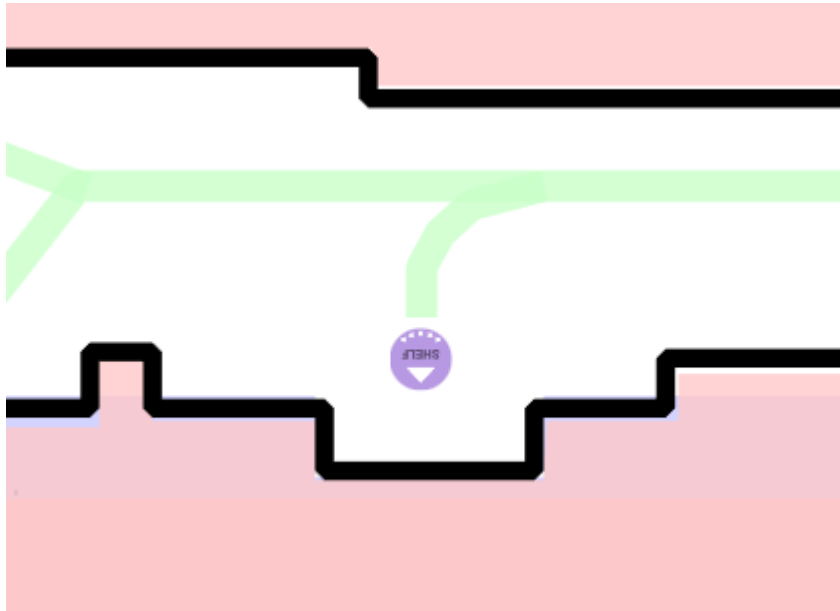
Kuva 46. Varaston ja tuotannon välisen risteuksen reititys.

Osa B:n reitityksen viimeistely ja toimivuus luodaan path guideilla. Path guidet luotiin myöhemmin jokaiselle osakuljetukselle.

7.5.4 Osa C materiaalikuljetusreitti

Osa C:n materiaalikuljetus tehtiin pääosin samaa yleistä kulkureittiä pitkin kuin osa A:n kuljetus. Tästä syystä muutoksia kulkureitille ei tarvinnut tehdä. Osa C:n reitin suunnittelussa keskityttiin vientipaikkaan ja tätä ympäröivään alueeseen.

Osa C:n materiaalikärryn nouto- ja vientipaikka luotiin kartalle osa A:n mukaisesti paikka käyttämällä apuna materiaalikärryä ja mobiilirobottia paikan varmistamiseksi. Paikalle luotiin preferred route, jotta robotti pääsee kääntymään tänne. Paikka ja reitti nähdään kuvassa 47.

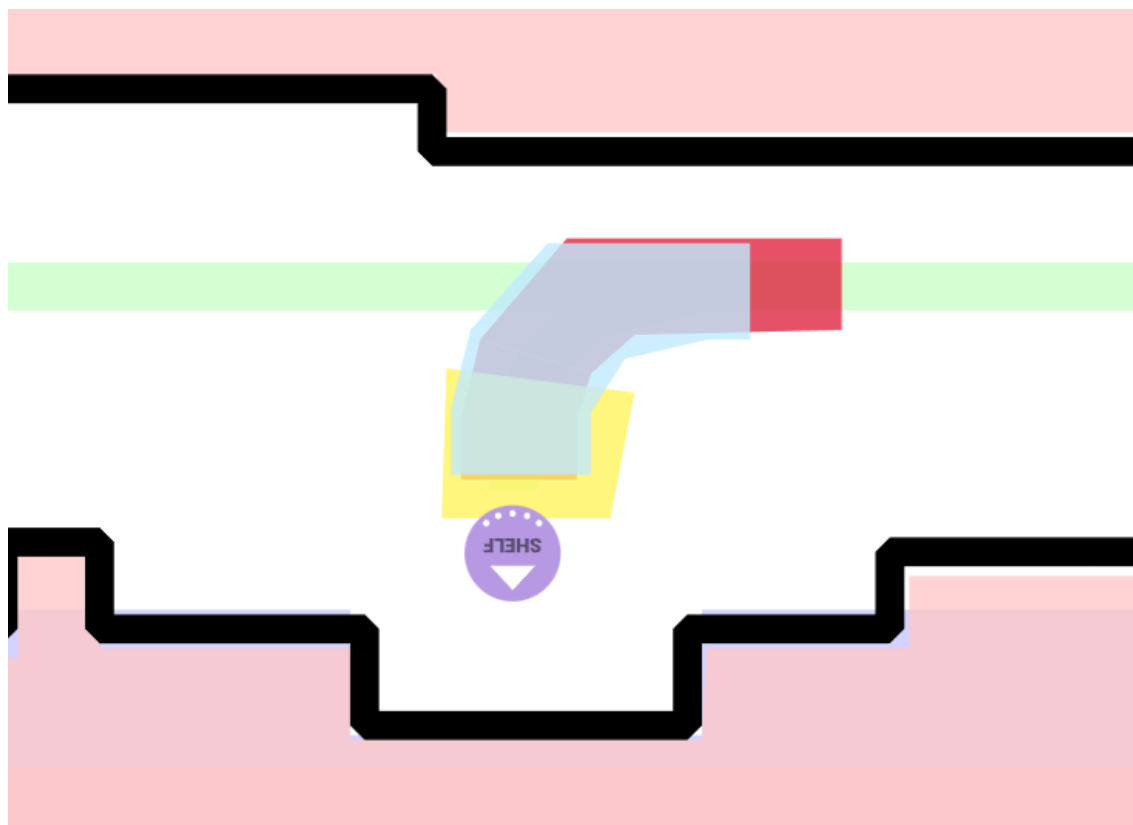


Kuva 47. Osa C:n vientipaikka ja käännös.

Materiaalipaikkaa lähestyttäessä haluttiin robotin hidastavan, joten luotiin speed alue kuvan 47 mutkaan. Speed alueesta tehtiin sen verran kulkureitille ulottuva, että mahdolliset käännöistä lähestyvät robotitkin hidastavat nopeuttaan. Materiaalipaikka sijaitsee yleisen robotiliikenteen varrella, joten nopeutta rajoittamalla pyrittiin estämään ruuhkautuminen ja mahdolliset onnettomuudet. Käännökseen luotiin samoista syistä myös limit-robots-zone.

Paikan läheisyydessä työskentelee tuotantotyöntekijöitä molemmin puolin kulkuväylää, sekä manuaalisia pinontavaunuja kuljettamassa materiaalia. Tästä syystä on huomioitava turvallisuus. Turvallisuutta pyrittiin kasvattamaan luomalla käännökseen sound and light zone alue, jolla määritettiin robotti vilkuttamaan valoja ja päästämään ääntä kaiuttimista. Näillä asetuksilla pyrittiin lisäämään robotin näkyvyyttä ja kuuluvuutta.

Kuvaan 47 lisätyt alueet ja materiaalipaikan reitin ulkoasu nähdään kuvasta 48.



Kuva 48. Osa C:n vientipaikan Fleet kartoitus.

Fleet kartoitukseen tehdyt lisäykset ja muutokset nähdään vertaamalla liitteitä 3 ja 4 keskenään. Liite 3 vastaa alkutilannetta opinnäytetyön aloituksessa, liitteestä 4 nähdään kokonaisuudessaan luodut reititykset ja aluelisäykset isojen osien vientiasemille tuotannossa.

7.5.5 Osien kuljetusten path guidet

Kuljetusten reiteille tarvittiin ajopisteitä, joita käytettiin osakuljetuksien path guide:jen luomiseen. Ajopisteet luotiin Fleet karttaan sijoittamalla ne niille preferred route reiteille, joista robottien toivottiin liikkuvan kun nämä kuljettavat kärryt tuotantoon ja kun nämä tulevat tuotannosta takaisin varastoon.

Ajopisteet nimettiin sen mukaisesti, että nämä oli helppo löytää kuvan 29 ajopistelista. Tämä helpotti path guidejen luomista, kun tiedettiin mille kuljetukselle pisteet kuuluivat. Start ja Goal positions paikat path guideja varten

olivat jo kartalla, sillä nämä tulevat varaston materiaalikärrypaikoista, tyhjän kärryn tuontipaikoista sekä tuotannon vienti- ja noutopaikoista.

Ajopisteet luodaan kartalle, lisätyt pisteet nähdään liitteestä 5.

Osat A ja D kuljetetaan samaa reittiä pitkin tuotantoon, joten näille voitiin tehdä yhteinen path guide. Osa C:n materiaalikuljetusreitti on suurimmalta osalta identtinen osien A ja D kanssa, mutta kärryn vientipaikka sijaitsee osia A ja D aikaisemmin. Osalle C oli siis luotava oma path guide, jottei robotti laskisi reittiä sellaisten pisteiden kautta, jotka johtaisivat osa C vientipaikan ohitse. Osa B myös tarvitsi oman path guidensa, sillä tämän reitti eroaa muiden osien kuljetuksista merkittävästi.

Robotit kulkevat kahteen suuntaan kuljettaessaan materiaalikärryjä, tuotantoon ja varastoon. Robotit tarvitsivat siis kutakin osakuljetustehtävää varten kaksi path guidea, sillä näiden start ja goal positionit vaihtuvat tehtävän puolivälissä.

Ensiksi valittiin osia varten sopivat materiaalinoutopaikat varastosta. Perustelut valinnoille tehtiin seuraavasti:

- Osa A: Materiaalikärry noutopaikalta Nouto4. Noutopaikka on lähellä välitilan ovea ja varaston puolen vientipaikkaa. Osakuljetusten testaus ja implementointi aloitetaan osa A:sta, joten paikka mahdollistaa suoran yhteyden näille edellä mainituille paikoille. Osan vienti tapahtuu usein, joten suurempi reitti tuotantoon päin on eduksi.
- Osa B: Materiaalikärry noutopaikalta Nouto5. Osan vientiä tapahtuu useammin kuin osa A:n. Robotin kulkema reitti tältä paikalta on kuitenkin vielä lähellä ovea, joten paikan voitiin olettaa toimivan. Noutopaikkoja osien A ja B välillä voidaan vaihtaa myöhemmin, mikäli Nouto5 todetaan huonoksi osa B:n kuljetukseen.
- Osa C: Materiaalikärry noutopaikalta Nouto3. Osan vienti tuotantoon tapahtuu harvoin, mutta materiaalikärry on täyteen lastattuna kaikista materiaalikärryistä painavin. Robotin rasiusta vähentämiseksi valittiin osalle noutopaikka, joka on lähellä kulkureittiä.

- Osa D: Materiaalikärry noutopaikalta Nouto2. Osan vienti tulee tapahtumaan harvoin, joten paikan ei tarvitse olla kulkureitin välittömässä läheisyydessä.

Path guidet materiaalikuljetusreiteille luotiin kappaleen 8.4. mukaisesti jokaiselle osakuljetukselle, varastosta tuotantoon ja tuotannosta takaisin varastoon.

Luodut path guidet osille A ja D liitteissä 8 ja 10, osalle B liitteissä 11 ja 12 sekä osalle C liitteissä 13 ja 14.

8 Testaus, kehittäminen ja laajentaminen

Ensimmäisten tehtävien, reittien ja path guide:jen luomisen jälkeen oli näitä testattava käytännössä. Testaukset aloitettiin osa A:ta.

Testauksissa varmistettiin suoriutuuko mobiilirobotti materiaalikuljetuksesta toivotusti. Päästäänkö robotilla samoihin materiaalinkuljetusaikoihin kuin manuaalisesti, vai huomataanko tässä positiivisia tai negatiivisia eroja. Varmistetaan pystyykö mobiilirobotilla toimimaan tuotannon tahdissa.

Testauksen ja mobiilirobotin liikkeiden seuraaminen mahdollisti kehityskohteiden havainnoinnin. Mahdollisia kehityskohteita voidaan parantaa joko muokkaamalla tehtävien rakennetta, reitityksiä ja/tai path guideja.

Kehitystöiden ja parannusten jälkeen voitiin näitä soveltaa muiden osien kuljetustehtäviin ja -reitteihin. Tämän jälkeen kaikki osien kuljetustehtävät ja reitit voitiin testata käytössä ja implementoida tuotantoon.

8.1 Osa A:n kuljetuksen testaus

Testausajankohta sovittiin tuotannon ja varaston esihenkilöiden sekä asemien työntekijöiden kanssa. Mobiilirobottikuljetusta ei voitu suoriltaan ottaa mukaan osaksi tuotantoa ilman tämän toimivuuden takaamista, joten testauksia tehtiin viikon ajan 2-4 tuntia päivässä aamuvuoron mukana.

Ensimmäiset testaukset tehtiin itse käskyttämällä robottia. Mahdolliset epäkohtiin tehtiin korjauksia, kunnes kuljetus toimi. Tämän jälkeen testausta jatkettiin antamalla varaston työntekijöiden komentaa robotti suorittamaan tehtävää, kun osatilaus saapuu varastoon.

Testauksesta saadut havainnot ja tulokset

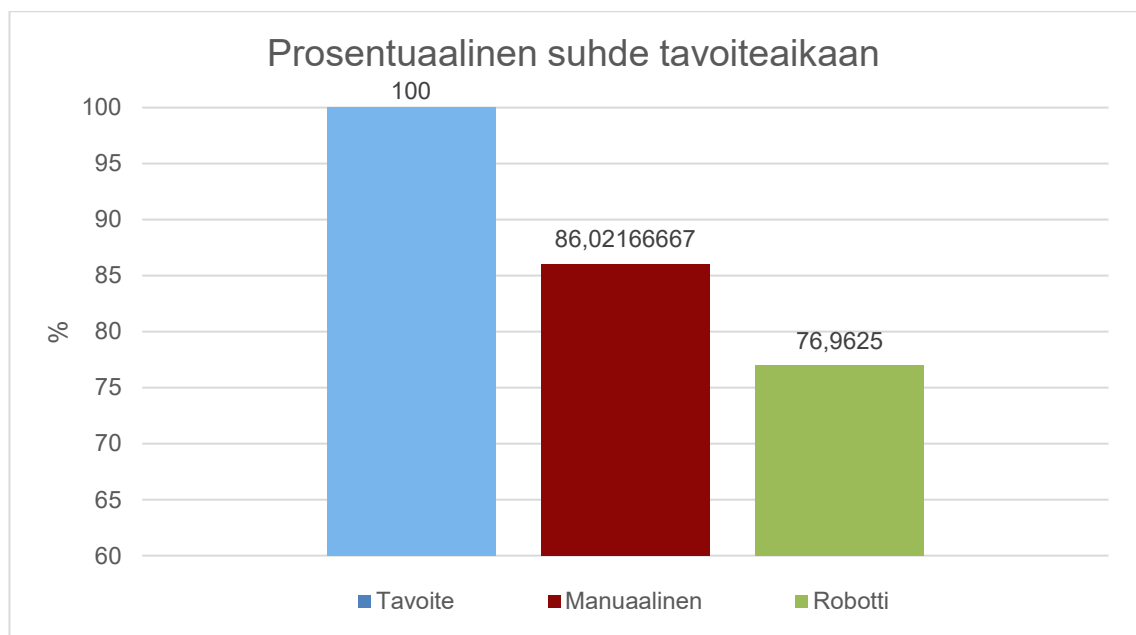
Osakuljetuksen aikana havaittiin että alueilla, joilla työskentelee muitakin robotteja, kulkureitit aiheuttivat ajoittain ruuhkautumista. Näitä syntyi kahden

tuotantolinjan välisellä pitkällä ja kapealla käytävällä sekä tuotantolinjan päädyssä.

Materiaalikärryn hakeminen tuotannon kärry paikalta sujui hyvin, mutta kärryn vieminen tälle paikalle tuotti ajoittain haasteita. Tämän voitiin olettaa johtuvan siitä, että paikka sijaitsee liian lähellä tuotantolinjan robottisolun seinää.

Kuljetukset mobiiliroboteilla sujuivat yleisesti hyvin ja ajallaan. Tavoiteaikaan päästiin ja havaittiin, että saatiin aikaiseksi myös ajallisia säästöjä. Sillä manuaalisen materiaalikuljetuksen riskinä on, etteivät työntekijät ehdi vaihtamaan materiaalitulannetta niin että kärryt vaihdettaisiin ajoissa. Tällöin materiaalikärryjä saatettiin hakea tuotannosta liian myöhään. Mobiiliroboteilla tehdyt kuljetukset saapuivat ajallaan aiheuttamatta tuotannollisia hidastuksia.

Kuvio 3 näyttää prosentuaalisen suhteen manuaalisen ja robotisoidun kuljetuksen välillä, kun näitä verrataan keskenään ja tavoiteaikaan. Kuviossa asetettu tavoiteaika ei saa ylittyä, jotta materiaalikuljetus pysyy tuotannon tahdissa. Pienempi prosentuaalinen osuus tarkoittaa, että tavoite saavutetaan. Kuviossa tavoiteaika on 100% tavoiteajasta, manuaalinen kuljetus 86% siirtoajasta ja robottikuljetus 77% tavoiteajasta.



Kuvio 3. Osa A:n robottikuljetuksen siirtoajan tulos.

Kuvioon 3 kerätyt ajat tulevat robottien viikon testiajan keskimääräisestä tuloksesta sekä päivän otannalla saaduista manuaalisen kuljetuksen ajoista. Kuviosta voidaan päätellä, että robottikuljetuksella päästiin hyvin tavoitteeseen ja häiriöttömässä robottikuljetuksessa säästetään aikaa verrattaessa tätä manuaaliseen kuljetukseen.

Huoli syntyi mobiilirobotin käyttöasteesta. Robotilla kului lähes yhtä kauan aikaa koko tehtävän suoritukseen, kuin tuotannossa kuluu aikaa tyhjentää puskurikärry. Tämä tarkoitti sitä, että robotti ei ehtinyt kuljetusten välissä lataamaan itseään tasaisesti. Vaikka tämä toimi yhden robotin ja osan kanssa, on riskinä ettei osien vienti tuotantoon pysyisi aikataulussa kun kaikki robotit olisivat käytössä ja jokaisen osan kuljetus toiminnassa.

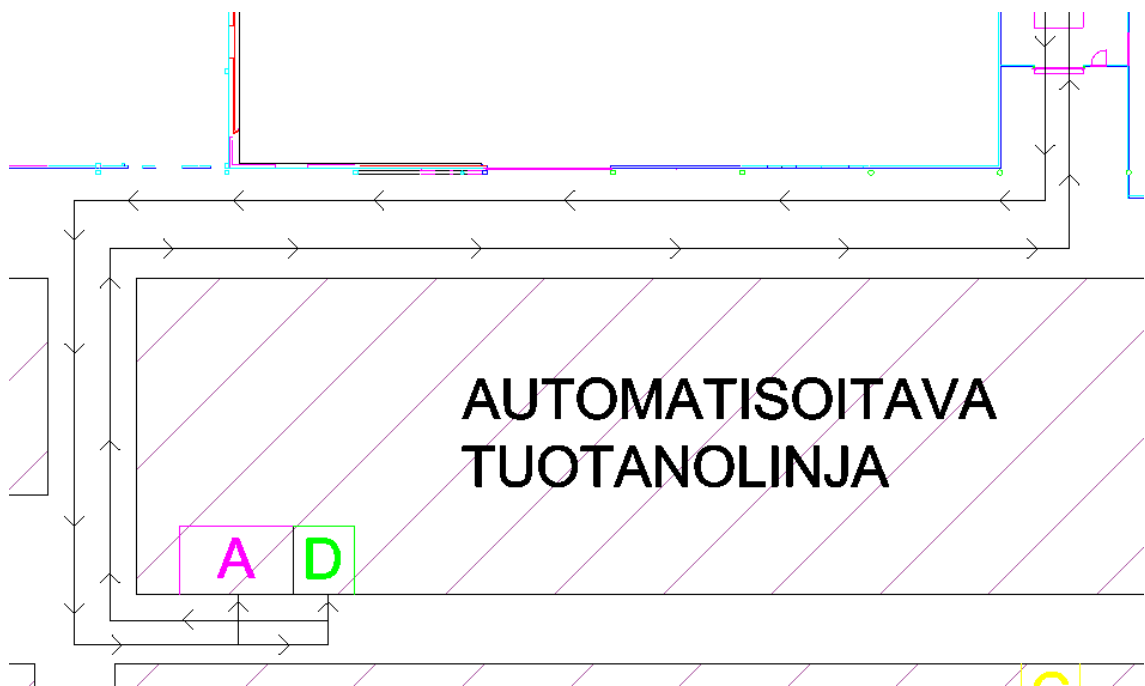
Havaintoihin reagointi

Kulkureittien korjaus ehkäisi ruuhkautumista tuotannossa muiden mobiilirobottien kanssa. Muutokset olivat pieniä preferred route reittien korjauksia kartalla. Reittejä pyöristettiin käännöksissä, näitä siirrettiin hieman kauemmas tuotantolinjalta ja tuotantolinjan oikeanpuoleisen päädyn kaistaa levennettiin.

Critical zonea tuotiin lähemmäs robottisolun seinää ja kärryn karttapaikkaa siirrettiin kartalla noin 20cm irti seinästä. Tällöin robotti jäi vielä riittävän turvallisen matkan päähän kulkuväylästä materiaalikärryn kanssa ja pääsi ongelmitta viemään kärryn asemalle.

Käyttöasteen parantamiseksi ja kuljetuksen nopeuttamiseksi todettiin, että aikakriittisille osille (osat A ja B) olisi tarpeellista saada kaksi kärrypaikkaa tuotannosta. Toinen täyden materiaalikärryn tuomiselle ja toinen tyhjän hakemiselle. Tästä antoivat materiaalikuljetuksen optimointia kommentoivat tuotannon sekä varaston työntekijät palautetta kysyttäessä. Tällöin robotti saisi suoritettua koko tehtävän puolet nopeammin, sillä tämän ei tarvitsisi tehtävän aikana palata varastoon ja siirtyä takaisin tuotantoon. Tämän lisäksi todettiin, että osien A ja D kuljetukset olisi nopeampi tehdä kaksisuuntaisesti. Tällöin

näitä osia kuljetettaessa robotit eivät kiertäisi koko tuotantolinjaa, vaan saman reitit edestakaisin. Tämä vaatisi kuitenkin tuotantolinjojen välisen käytävän, sekä tuotantotilan seinän sekä tuotantolinjan välisen käytävän muuttamista kaksisuuntaiseksi. Osien A ja D päivitetty suunnitelma kuljetusreitille nähdään kuvasta 49. Liitteessä 2 on kuvattu uusi päivitetty materiaalivirta isoille osille. Liitteitä 1 ja 2 vertaamalla huomataan selvästi, kuinka suuri muutos osien A ja D uudelleenreitityksellä tehdään.

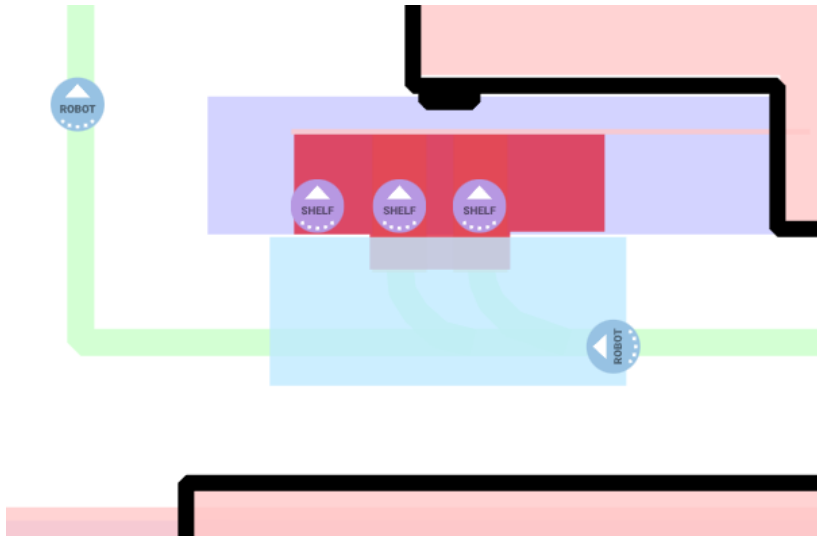


Kuva 49. Päivitetty materiaalivirran suunnitelma osille A ja D.

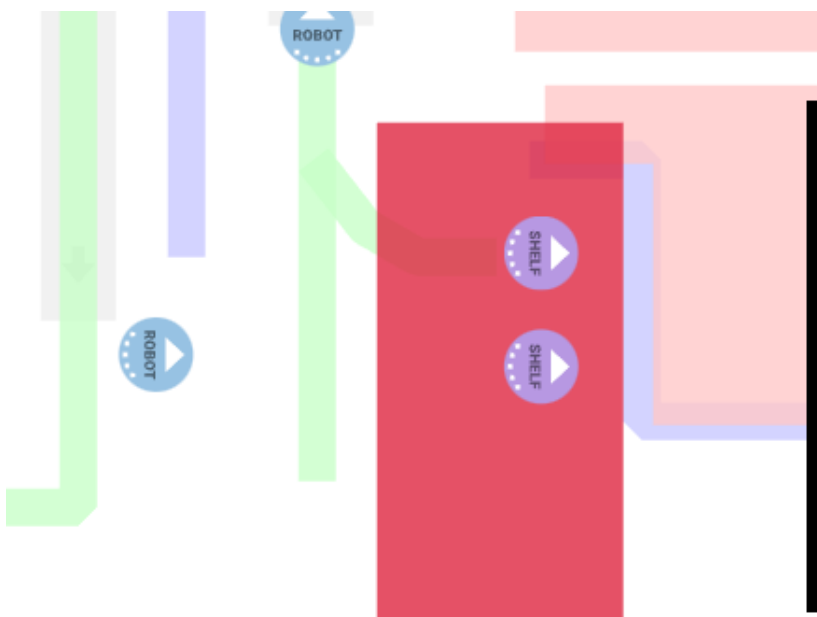
8.2 Tehtävien ja reitityksien kehitys

Tuotannon ja varaston työntekijöiltä saadun palautteen ja testauksessa tehtyjen havaintojen pohjalta luotiin osille A ja B kaksi uutta karrypaikkaa tuotantoon. Paikat luotiin vierekkäin, jotta materiaalikärryjen vienti ja nouto sujuisivat nopeasti eivätkä etäisyydet vaikuttaisi asematyöntekijöiden toimintaan.

Kuvasta 50 nähdään osa A:n alkuperäinen ja lisätty karrypaikka ja kuvasta 51 osa B:lle tarkoitetut karrypaikat.



Kuva 50. Osa A:n kärrypaikat tuotannossa.

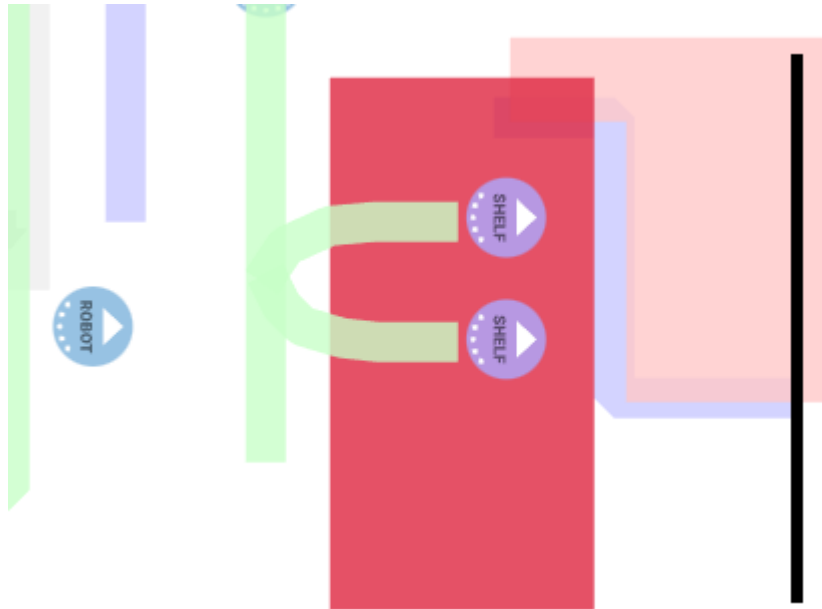


Kuva 51. Osa B:n kärrypaikat tuotannossa.

Osa B reititys

Paikkojen lisäämisen jälkeen reitityksen muokkaaminen aloitettiin osa B:n reitityksestä. Kuvan 51 ylempi kärrypaikka pysyi materiaalikärryn tuontipaikkana, sillä tämä on lähempänä työasemaa ja alemmasta

kärrypaikasta tehtiin tyhjän materiaalikärryn noutopaikka. Uudelleenreititys osalle B vaati preferred route reittien parantamista. Paranneltu reititys nähdään kuvassa 52.

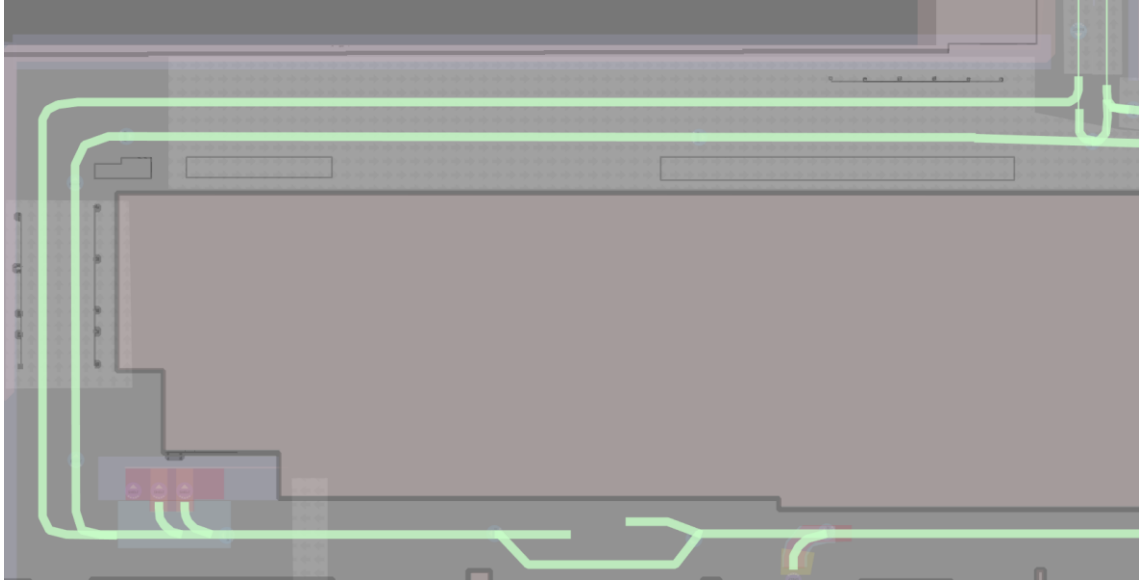


Kuva 52. Osa B:n kärrypaikkojen paranneltu reititys.

Preferred route:lla luotiin reitti kummallekin osa B:n kärrypaikalle tuotannossa (kuva 52). Tätä käyttämällä robotti pystyy peruuttamaan vientipaikalta ja suunnittelee helpommin reitin viereiselle kärryn noutopaikalle.

Osien A ja D reititys

Kun osien A ja D materiaalireititys muutettiin kaksisuuntaiseksi, tuli preferred routet ja directional routet näiden kulkukäytävillä muuttaa tukemaan liikeratoja. Kun preferred route reittejä siirrettiin kartalla, oli myös siirrettävä näille asetetut ajopisteet jotka toimivat robotit ohjauksessa path guiden sisällä. Muutoin robotti saattaisi poiketa tehdä toivotulta reititykseltä pyrkiessään menemään reitin ulkopuolella olevalle ajopisteelle. Jotta reitityksestä saadaan kuvan 49 mukainen, aloitettiin reitityksen muokkaaminen preferred route reiteistä. Kuvasta 53 nähdään muutettu preferred route reititys osille A ja D.



Kuva 53. Osien A ja D paranneltu reititys.

Directional route alueet muutettiin vastaamaan kaksisuuntaista liikennettä.

Kuvan 53 vasemman ylänurkan käännöksen sekä vasemman laidan käytävään lisättiin unpreferred route erottamaan kulkusuunnat, jotta robotit eivät ajaisi vastaantulevalle kaistalle mahdollisen esteen, kuten toisen robotin, kohdatessaan.

Kaksisuuntaiselle käytävälle ja tälle johtavaan käännöksen luotiin speed alueet rajoittamaan robottien liikenopeutta kapean käytävän sisällä. Alueella kulkee myös jalankulkijoita sekä manuaalisten trukkien liikennettä, joten sound and light zone alueet asetettiin tuottamaan roboteilla ääntä huomattavuuden parantamiseksi. Käytävän läpiajoa rajaamaan luotiin limit-robots-zone alue yhdelle (1) robotille estämään mahdollisia ruuhkautumisia kapealla käytävällä. Käytävälle lisätyt alueet nähdään kokonaisuudessaan liitteestä 6.

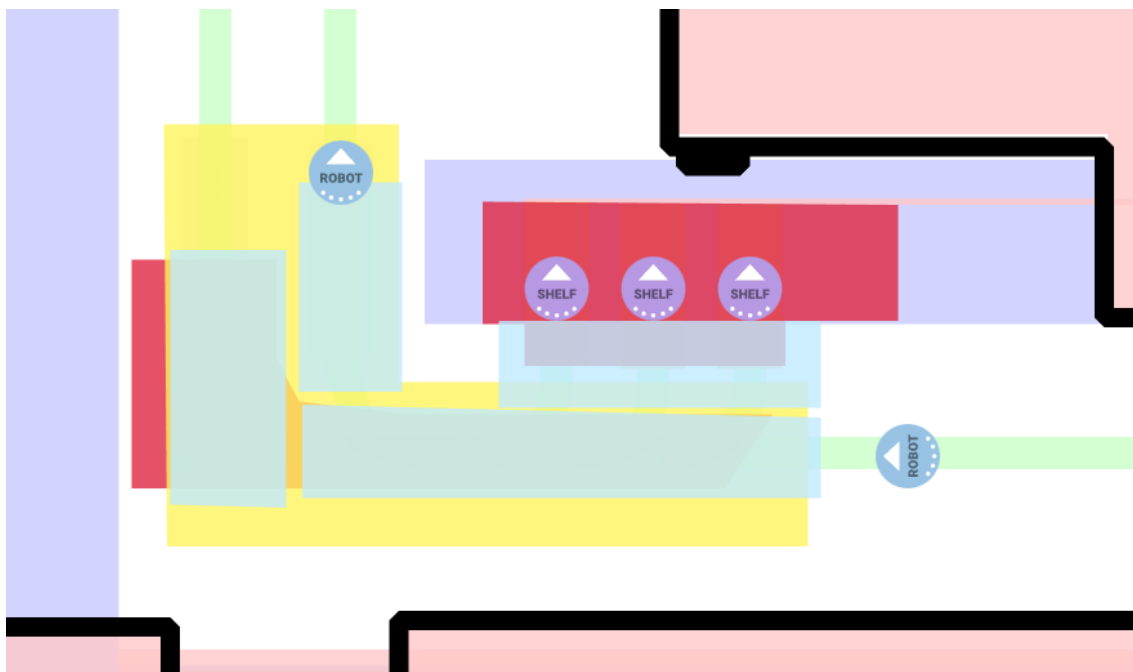
Seuraavaksi muutettiin materiaalikärrypaikkojen lähestymisreitit. Preferred route käännökset osien A ja D paikoille muutettiin siten, että käännos tapahtuu robotin tullessa vasemmalta. Uudelle osa A:n kärry paikalle luotiin critical zone, kuten aikaisemmalle pisteelle.

Osien A ja D kärrypisteitä kattavaa speed aluetta kasvatettiin niin, että tämä kattoi kaikki kolme pistettä. Speed alue lisättiin myös alueille johtavaan mutkaan varmistamaan robotin rauhallinen käänös ruuhkaisella alueella. Tämän alueen nopeudeksi asetettiin 0.8m/s.

Koska käänös sijaitsee kulkukäytävien risteyskohdassa, on alueella paljon jalankulkijoiden ja manuaalisesti operoitujen ajoneuvojen liikennettä. Robottien havaitsemisen parantamiseksi lisättiin sound and light zone alue käännökseen. Alueella robotti asetettiin päästämään ääntä.

Alueelle lisääntyvän robottiliikenteen vuoksi käännöksiin ja paikkojen ohitukseen asetettiin limit-robotos-zone rajoitusalueet niin, että näille alueille sallitaan vain yksi (1) robotti kerrallaan. Luotiin neljä (4) erillistä aluetta, sillä yksi alue varaisi koko käännöksen. Useammalla alueella saatiin tasapainotettua mahdollista ruuhkautumista robottien pysähtyessä odottamaan alueen vapautumista.

Muokattu osien A ja D materiaalikärryjen tuotannon nouto- ja vientialue nähdään kuvasta 54.

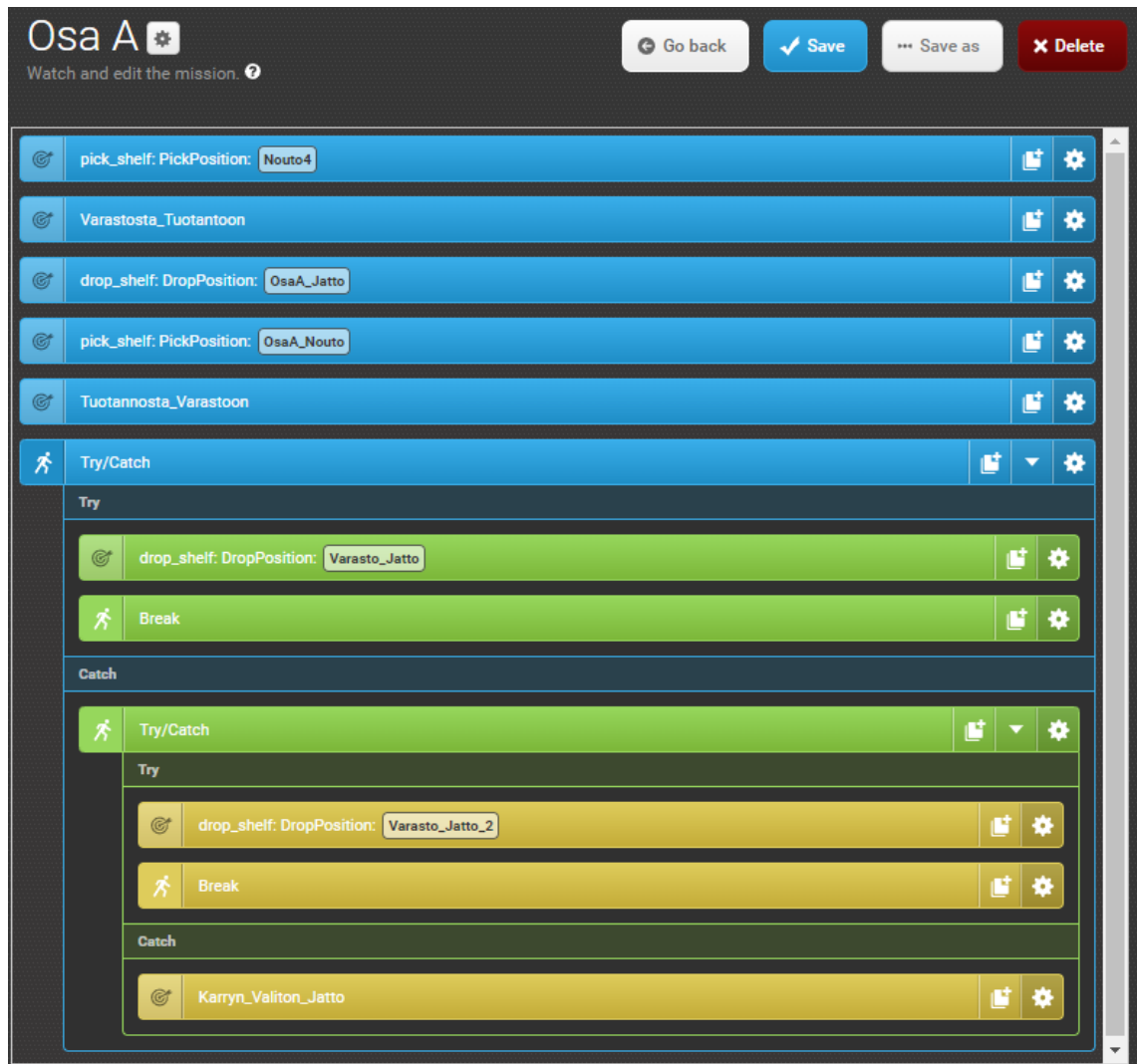


Kuva 54. Paranneltu kartoitus osien A ja D alueelle sekä näille johtavaan käännökseen.

Osa A tehtävän muokkaaminen

Osa A:n kuljetukseen luotu tehtävä (kuva 20) todettiin toimivaksi tapauksessa, jossa tyhjä kärry haetaan tuotannosta, tuodaan tämä varastoon ja varastosta viedään täysi kärry tuotantoon. Tehtävän perusrakenne oli soveltuva osien C ja D kuljetukseen. Tehtävä tallennettiin uudella nimellä, jolloin tehtävästä saatiin kopio 'Osa C'.

Kuvan 20 tehtävärakennetta muutettiin siten, että robotti noutaa ensin täyden materiaalikärryn varaston noutopaikalta, vie tämän tuotantoon, poimii tuotannosta tyhjän kärryn ja ajaa takaisin varastoon palauttamaan tyhjän kärryn. Muokkaamiseen ei tarvinnut lisätä uusia tehtävämoduuleita, aikaisemmin lisätyt tehtävämoduulit järjestettiin uudelleen vastaamaan tarkoitettua toimintatarkoitusta. Uusi osa A:n kärryn vientipaikka tuotannossa lisättiin tehtävämoduuliin drop_shelf, että robotti ymmärtää käyttää molempia tuotannon paikkoja. Lopullinen Osa A tehtävä ja tämän rakenne nähdään kuvasta 55.



Kuva 55. Osa A:n lopullinen tehtäväversio.

Osien A ja D path guiden muokkaaminen

Osien A ja D kulkureittiä oli muutettu huomattavasti eivätkä aikaisemmat path guidet siksi toteuttaneet haluttua robottien kulkureittiä. Osien kuljetusta varten oli lisättävä uusia ajopisteitä kaksisuuntaisen liikenteen preferred zonen mukaisesti. Lopullinen reititys lisätyillä ajopisteillä nähdään liitteestä 6.

Osien A ja D path guide tuotannosta varastoon ei tarvinnut muokkauksia, sillä tämän käyttämiin ajopisteisiin ei tehty muita muutoksia, kuin liikutettu näitä kartalla oikeille paikoille. Tuotannosta varastoon vievä path guide noudattaa

edelleen samaa reittiä kuin aikaisemmin. Start positioihin lisättiin uusi osa A:n kärrypiste.

Varastosta tuotantoon ohjaava path guide tarvitsi muutoksia, sillä reitin kulkusuunta vaihtui. Aikaisemmin luotua path guidea (liite 8) muokattiin siten, että myötäpäivään ohjaavat ajopisteet poistettiin ja näiden tilalle laitettiin vastapäivään kiertävät ajopisteet haluttuun järjestykseen. Goal positioihin lisättiin uusi osa A:n kärrypiste. Päivitetty path guide on nähtävissä liitteessä 9.

8.3 Kehitetyn osa A kuljetuksen testaus

Uuden reitityksen testausajankohta sovittiin tuotannon ja varaston esihenkilöiden sekä tilausaseman työntekijöiden kanssa. Testaus suoritettiin samalla periaatteella kuin aikaisempikin testaus. Kun uudistettu reititys todettiin toimivaksi, voitiin työntekijöiden sallia hyödyntää robottikuljetusta tuotannossa. Tällöin osa A:n kuljetus saatiin implementoitua.

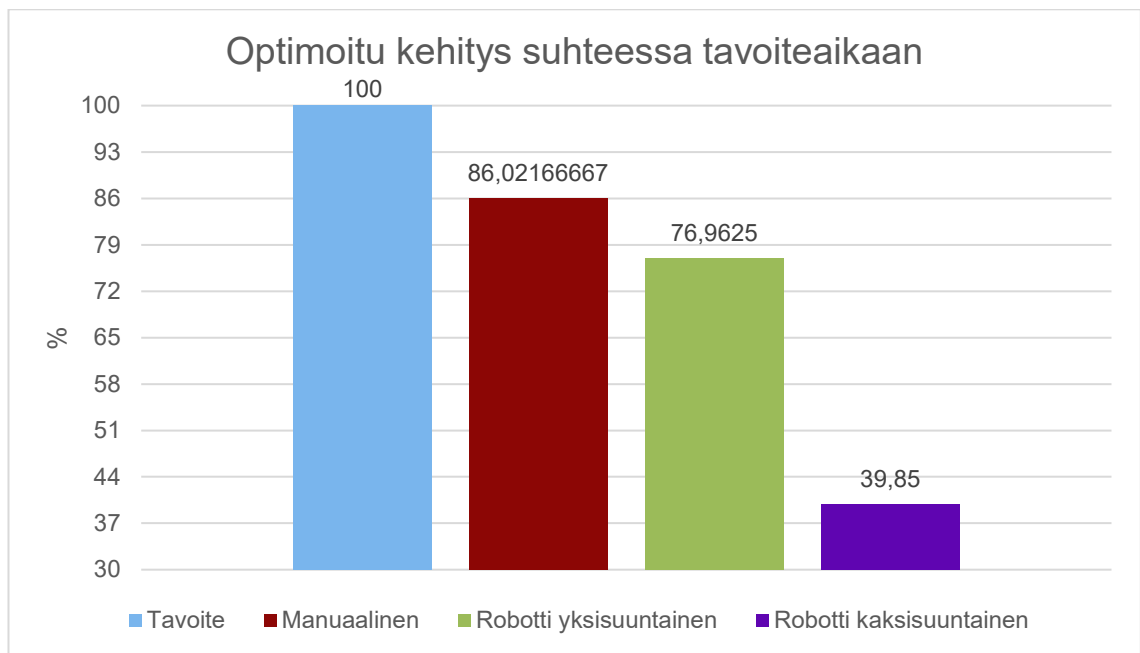
Testauksen havainnot

Vastapäivään toimiva materiaalikuljetusreitti toimi testauksen aikana kuten oli tarkoitus. Reititykseen tehtiin testien aikana pieniä korjauksia kun mobiilirobotti häiriintyi reittiä lähellä olevista kaiteista ja muista tehtaan rakenteista.

Välitilan ja tuotannon risteys aiheutti huolta lisääntyvän robottiliikenteen vuoksi. Ruuhkautuminen ja onnettomuuksien mahdollisuus kasvoi. Alueella on paljon manuaalista ja automatisoitua liikennettä, mikä lisääntyy muiden isojen osien kuljetuksen implementoinnin myötä.

Kuljetukset sujuivat hyvin ja selkeää parannusta aikaisempaan tehtävä- ja reittirakenteeseen havaittiin. Robotin kulkeman matkan puolittuessa myös kuljetukseen kulunut aika lyheni huomattavasti. Työntekijöiden saama kokemus roboteista ja tottuminen automaattiseen operointiin vähensi toimitusten kanssa syntyviä ongelmia.

Kuvio 4 näyttää uudella reitityksellä ja tehtävärakenteen muutoksella saatu ajallinen säästö osa A:n kuljetuksissa. Kuviosta havaitaan, että yksisuuntaisella robottikuljetuksella saatiin kuljetus enimmäistavoiteaikaan noin 23% nopeammin, kun taas kaksisuuntaisella reitityksellä päästiin noin 60% tavoiteaikaan pienempään suoritusaikaan. Tästä voidaan todeta, että muutoksella saatiin robotin käyttöastetta laskettua ja robotilla on enemmän aikaa olla latauksessa tai suorittaa muita tehtäviä. Tehtävän nopeampi suorittaminen myös laskee tehtävien asettamisen aikakriittisyyttä varaston työntekijöillä.



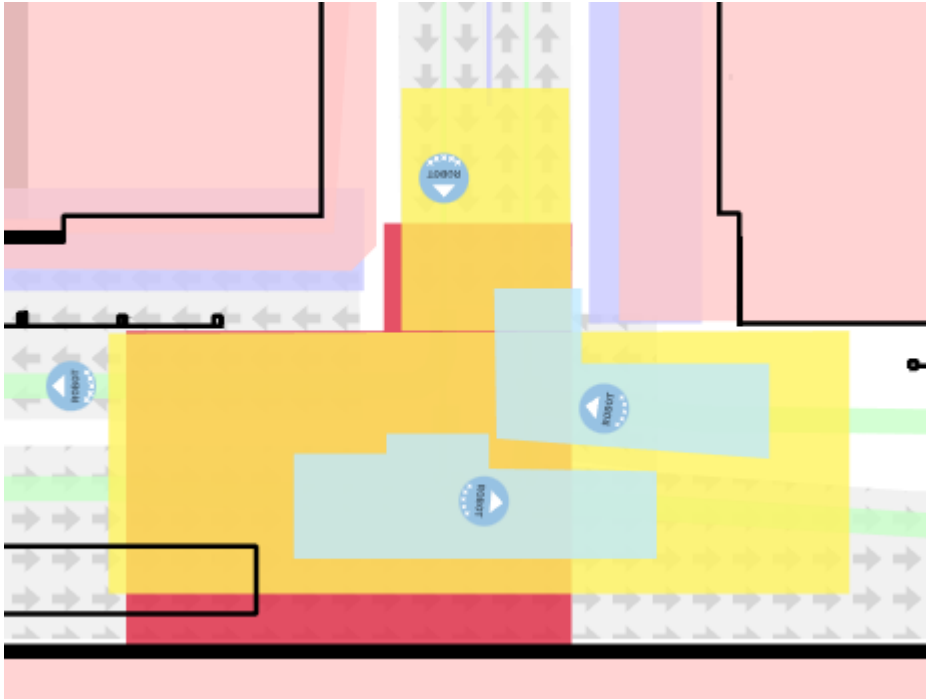
Kuvio 4. Osa A:n lopullisen robottikuljetuksen tulos.

Kehityksen havaintoihin reagointi

Pieniä korjauksia tehtiin reititykseen jo testauksen aikana, joten reititystä ei tarvinnut parantaa.

Välitilan ja tuotantotilan risteys oli mahdollinen riskialue, jota parannettiin lisäämällä limit-robots-zone rajoitusalueita, speed alue (nopeudella 0.4m/s) ja sound and light zone alueita. Näillä pyrittiin minimoimaan pullonkaulojen riskit, välttämään onnettomuuksia ja parantamaan mobiilirobottien toiminnallisuutta

liikennöidyillä alueella. Lisätyt alueet ja kehitetty risteysalue nähdään kuvasta 56.



Kuva 56. Lopullinen turvallisemmaksi paranneltu varaston ja tuotannon risteys.

Kahden paikan käyttö todettiin hyvin toimivaksi ratkaisuksi usein kuljetetuille aikakriittisille osille, joten tämä voitiin ottaa käyttöön myös osan B kuljetuksessa.

Vastapäivään kulkevan reitityksen tehokkuuden ja toimivuuden voitiin todeta olevan luotettava ja kannattava, joten tämä voidaan implementoida osan D:n kuljetukseen.

Osa C:n sijainti tuotannossa tarkoitti, että tämän reititystä ei ollut mahdollista parantaa kaksisuuntaisella liikenteellä. Materiaalikärryn paikoitus tuotannossa oli ahtaalla alueella, joten tänne ei voitu toteuttaa kahden materiaalikärrypaikan tehtävärakennetta. Osa C ei ole aikakriittinen osa, joten tämä ei aiheuta tuotannollisia ongelmia.

Kuvio 4:n tulokset antoivat varmuutta siitä, että mobiilirobottikuljetus isoille osille on toimiva ja kannattava ratkaisu. Joten toimintaa laajennettiin myös osille B, C ja D.

8.4 Tehtävien laajentaminen osille B, C ja D

Osa A:n lopullisesta kuljetustehtävästä (kuva 55) tallennettiin nimellä 'Osa B', jolloin tehtävästä luotiin osa B:lle kopio. Kopiota käytettiin osa B:n tehtävään, sillä tällä osakuljetuksella on kaksi paikkaa tuotannossa. Osa B tehtävän rakennetta ei muutettu, mutta tehtävämoduulien paikka-asetuksia muutettiin vastaamaan osa B:n paikkoja varastossa ja tuotannossa.

Kuvan 20 mukainen versio tehtävästä Osa A tallennettiin aikaisemmin nimellä Osa C, joten tästä on valmiina toimiva kopio. Osa C tehtävä tallennettiin uudestaan nimellä 'Osa D', jolloin saatiin tehtävästä kopio myös osa D:n kuljetusta varten.

Osien C ja D tehtävien rakenteita ei muutettu. Näiden tehtävien tehtävämoduuleissa tarvittavat paikka-asetukset vaihdettiin vastaamaan osien paikkoja varastossa ja tuotannossa.

8.5 Osien B, C ja D testaus

Testijaksotus osille B, C ja D tehtiin siten, että osien kuljetus aloitettiin yhdellä osalla ja testiä seurattiin aikaisemmin suoritettujen testijaksojen mukaisesti. Osien testaus aloitettiin osasta D, sillä tämän toiminnan voitiin olettaa olevan toimintakuntoinen perustuen osa A:n ensimmäisen tehtäväversion ja nykyisen reitityksen tuloksiin.

Kun osa D:n kuljetuksen toiminta oli varmistettu ja tuotannon sekä varaston työntekijöiden voitiin antaa suorittaa tehtävien hallinta itsenäisesti, siirryttiin osien B ja C testaukseen.

Osa D:n jälkeen testaus suoritettiin osa C:n kuljetukselle. Osa C:n reitti ja tehtävärakenne vastasivat osa A:n alkuperäisiä versioita, jotka oli aikaisemmissa testauksissa todettu toimiviksi. Siksi voitiin olettaa, että testauksessa ei ilmene suurempia haasteita. Materiaalikärryn tuotannon paikan sijaintiin varauduttiin tekemään parannuksia testauksen perusteella.

Viimeiseksi testattavana osakuljetuksena suoritettiin osa B:n kuljetus. Osa B:n materiaalikuljetuksen valittu reitti vastaa osittain samaa reittiä kuin osa C:n reitti (liite 2). Testauksessa varmistettiin materiaalikärryjen tuotannon kärrypaikat sekä osa B kuljetuksen paluureitin toimivuus. Tehtävä rakenne oli identtinen osa A kuljetuksen kanssa, joten voitiin olettaa tämän toimivan myös osa B:n kanssa.

Lopullisten testien havainnot

Osa D:n testauksessa ei havaittu ongelmia reitityksen eikä tehtävä rakenteen kanssa. Tuotannon materiaalikärry paikan ympäristön kanssa oli haasteita saada tuotua kärry toistuvasti oikein, sillä työaseman puskurikärryn asemointi saattoi tulla liian lähelle robotin tuomaa kärryä.

Tuotannon ja varaston työntekijät olivat jo tottuneita työskentelemään osa A kuljetuksen automatisoinnin kanssa joten osa D kuljetukseen mukautuminen kävi nopeasti ja osa C:n testaukseen päästiin siirtymään oletettua nopeammin.

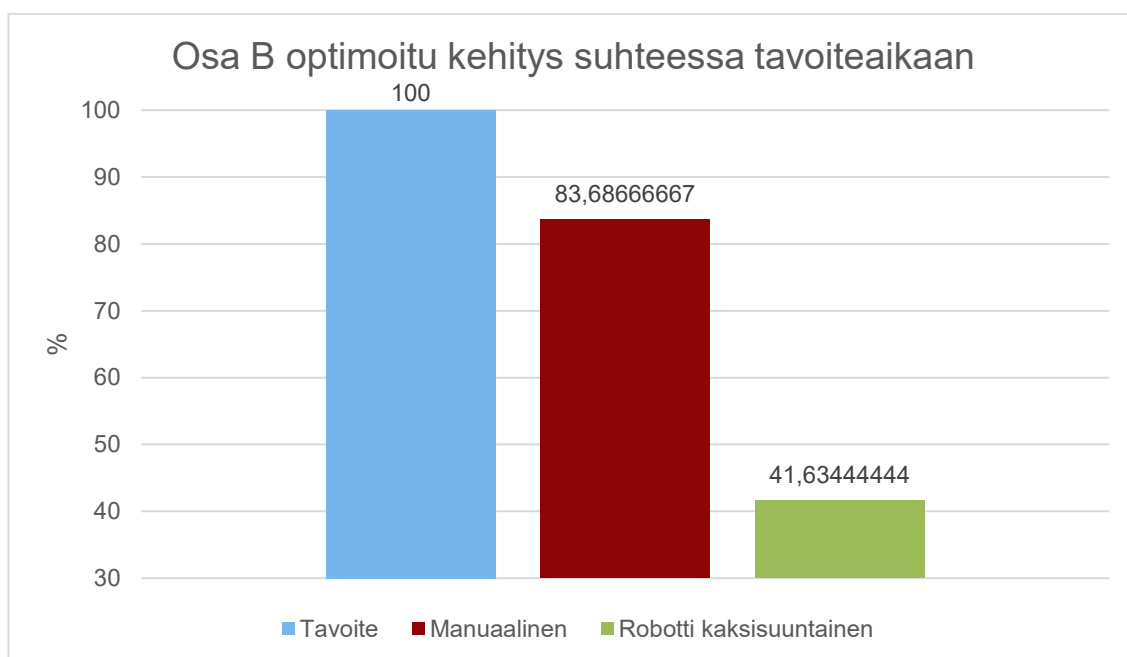
Osa C:n kuljetuksen testauksen kanssa ei ilmennyt uusia haasteita. Aikaisemmin tehdyt reitityksen korjaukset auttoivat osa C:n kuljetuksen toimitusta ja tehtävä rakenne toimi kuten aikaisemmin osa A:n kanssa. Materiaalipaikka tuotannossa sijaitsi kuitenkin lähellä rakenteellista tukipilaria, joka ajoittain aiheutti robotille ylimääräisiä hätäpysähdyksiä.

Osa B:n kanssa tehtävä rakenne toimi hyvin. Materiaalikärryjen paikoilla havaittiin haasteita näiden sijaitessa lähellä toisten prosessien mobiilirobottien latausasemia. Osa B:n paluureitti varastoon hyödyntää samaa kulkureittiä kuin muiden prosessien mobiilirobotit, mikä aiheutti ajoittaista reitiltä poistumista ruuhka-alueilla.

Sillä osien C ja D kuljetusten tarve tuotantoon tapahtuu harvoin ja tuoduissa kärryissä on riittävästi materiaalia pitkäksi aikaa, ei näiden kuljetuksen toteutumisella ole tuotannollista kiirettä. Tämän vuoksi näistä ei voida tehdä verrannollista kuviota säästetystä ajasta. Automatisoinnin etu näillä osilla voidaan perustella tuotannon ja varaston työntekijöiden työtaakan

keventymisellä, kun raskaita materiaalikärryjä ei tarvitse kuljettaa pitkiä matkoja manuaalisesti.

Osa B:n ajallinen säästö on havainnollistettu kuvioon 5. Manuaalisella kuljetuksella osa B:n kanssa päästiin kuvion mukaan noin 16% tavoiteaikaan nopeampaan suoritukseen, kun taas kaksisuuntaisen ja kaksipaikkaisen robottitoteutuksen kanssa tavoiteajasta säästettiin noin 58%. Kuvion perusteella kaksisuuntainen robottikuljetus oli noin puolet manuaalista kuljetusta nopeampi. Voidaan siis todeta, että robotisoidulla kuljetuksella säästetään työntekijöiden aikaa, mikä kuluu materiaalikuljetuksiin. Robottien kuljetus pääsee alle tavoiteajan tekemään kuljetuksen, jolloin kuljetukseen jää varoaikaa esteille ja kuljetuksellisille haasteille. Lisäksi robotin käyttöaste ei täyty, jolloin robotit kerkeävät hyvin lataamaan latausasemillaan tai suorittamaan muita tehtäviä.



Kuvio 5. Osa B:n robottikuljetuksen tulos.

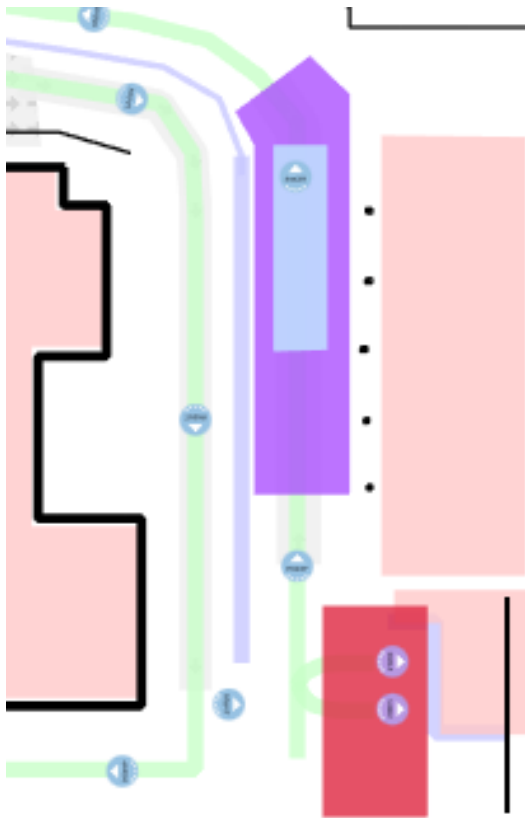
Robottiliikenteen lisääntyessä varastossa huomattiin, että varaston robottiliikenne tarvitsi ohjausta ja rajoituksia. Robottien ajonopeus oli liian suuri ja kärryjä noudettaessa oli roboteilla riski jäädä jumiin mikäli monta toimitusta oli samaan aikaan käynnissä.

Lopullisiin havaintoihin reagointi

Osa D materiaalikärrypaikan läheisen puskurikärryn aiheuttamiin haasteisiin tehtiin korjaus siirtämällä puskurikärryn lattiamerkintöjä kauemmas robotin paikasta ja ohjeistamalla työaseman työntekijöitä uudesta puskurikärryn sijainnista.

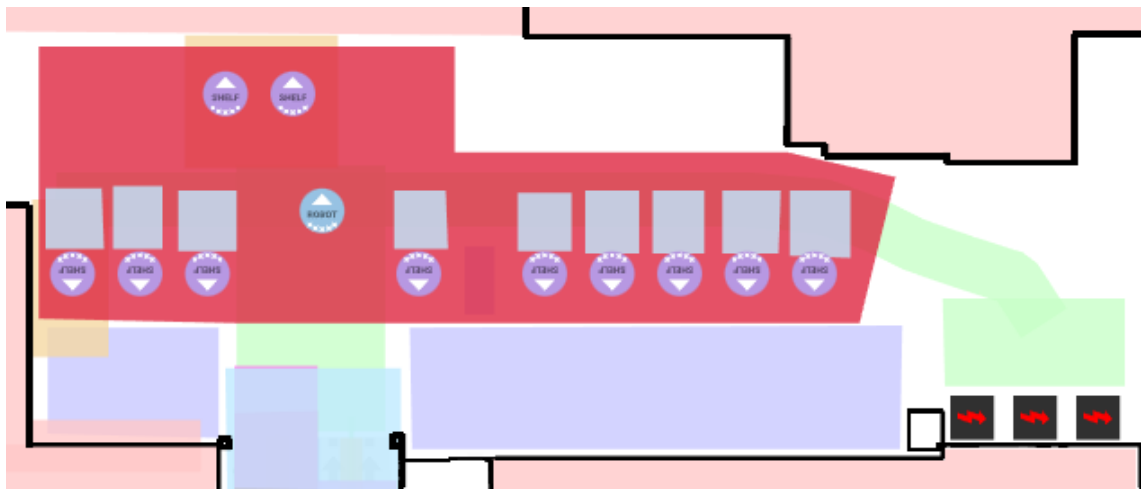
Osa C:n materiaalikärrypaikkaa siirrettiin kartalla noin 30cm oikealle, jotta kärryn tuonti ei häiriintyisi tukipilarin sijainnista. Siirtäminen ratkaisi ongelman, eikä hätäpysähdyksiä pilarista tämän jälkeen aiheutunut.

Osa B:n varastoon paluun reitityksen varrelle luotiin uusi limit-robots-zone ja planner zone alueet (path timeout -1 asetuksella ja path deviation 0.5 asetuksella). Näillä pyrittiin estämään ylimääräiset ruuhkautumiset muiden prosessien mobiilirobottien alueella ja estämään robotteja suunnittelemasta uusia reittejä kohdatessaan esteen. Lisätyt alueet nähdään kuvasta 57.



Kuva 57. Osa B kuljetuksen paluureitin lopullinen kartoitus.

Varaston mobiilirobottien liikennettä parannettiin lisäämällä speed alue (nopeudella 0.5m/s) robottien yleiselle kulkualueelle. Critical zone alueet lisättiin tyhjien kääryjen tuontipaikoille, sillä näiden edessä suoritetaan varastossa materiaalin käsittelyä ja tässä saattaa syntyä robotteja häiritseviä esteitä. Toinen critical zone lisättiin paikalle, joka sijaitsee seinän vieressä. Pienet limit-robots-zone alueet lisättiin materiaalikääryjen noutopaikoille. Jos toinen robotti on ajamassa noutopaikan ohi, ei kääryä noutava robotti saa peruuttaa näiden kulkureitille esteeksi. Päivitetty varastoalue nähdään kuvassa 58.



Kuva 58. Lopullinen varaston kartoitus.

Lopullinen Fleet kartoitus nähdään liitteestä 7. Vertaamalla liitteitä 3 ja 7 nähdään kartoitukseen tehdyt muutokset implementoinnin suorittamiseksi.

9 Loppuyhteenveto

Työn aihe oli erittäin mielenkiintoinen, haastava sekä opettavainen. Aiheen ajankohtaisuus ja soveltuvuus erilaisiin prosesseihin antoivat loistavan pohjan jatkaa mobiilirobottien parissa. Mobiilirobotit eivät vielä ole Suomessa levinneet jokaiseen tuotantoon, joten kasvualustaa tällä alalla on yhä ja tekniikka kehittyä jatkuvasti.

Työn haasteellisuutta tasapainotti työn kiireettömyys, projekti oli ollut suunnitteilla jo pidempään sekä materiaalikuljetukset toimivat manuaalisesti riittävän tehokkaasti. Työn aikatauluun vaikutti muiden projektien aikataulutus sekä tavoite olla venyttämättä automatisoinnin kestoa aikaisemmista toiveista. Tämä tarkoitti sitä, että työn pystyi suorittamaan ilman suuria ongelmia ajan loppumisen takia ja työn vaiheet pystyi jäsentämään automatisoinnin implementointiin ja uusiin prosesseihin tottumiseen sopivaksi.

Opinnäytetyön edetessä alkuperäiset suunnitelmat mukautuivat sen perusteella miten testivaiheet ja kuljetusten luominen antoivat tuloksia. Työssä yllättävin haaste syntyi reititysten ja erilaisten alueiden tarpeellisuudessa tasapainoisen automaattisen liikenteen luomiseksi.

Lopputuloksena mobiilirobotit implementoitiin ja käyttöön otettiin Valmet Automotive EV Power Oy:n Salon akkutehtaan tuotannossa.

9.1 Päätelmät ja tulokset

Mobiilirobottien implementointi jokaiselle isolle osalle onnistui tavoitteiden mukaisesti ja osien A, B, C sekä D kuljetukset saatiin automatisoitua.

Kuljetukset voidaan suorittaa käyttöönoton jälkeen mobiiliroboteilla.

Tuotannollisista syistä johtuen vielä kuitenkin satunnaisesti sattuu tilanteita, jolloin mobiilirobottien nykyinen tehtävärakenne ei toteuta toivottua tilausta.

Työn suorittaminen vaati todellisuudessa paljon yhtenäistä tehtävien ja reititysten luomista, mutta jäsentämisen ja luettavuuden parantamiseksi nämä

jaettiin tähän työhön omiksi kappaleiksiin. Asiakokonaisuudet, kuten tehtävien luominen ja reititys, ovat omia tärkeitä alueitaan joiden yhtenäisyys korostui kuljetuksia luodessa.

Yhden toimivan kuljetuksen luominen oli hyvä perusta luoda seuraavat, kunhan nämä olivat riittävän vastaavanlaisia. Usean tehtävän ja virheen tekeminen voitiin näin tiivistää yhden osan avulla suoritettavaksi paketiksi. Lisäksi tästä saatu oppi helpotti seuraavien suoritusten ja kuljetusten luomista sekä muokkaamista.

Tulokset antoivat vakuutta siitä, että yksinkertaisten toimitusten automatisointi on kannattava sijoitus tuotannossa.

Saavutukset

Kuvioista 4 ja 5 nähtävistä datasta voidaan perustella automatisoinnin tehokkuus tuotannossa. Mobiilirobotit suorittivat materiaalikuljetukset alle puolessa ajassa vaadittuun tavoiteaikaan. Osa A:n tapauksessa ero manuaalisen ja lopullisen automatisoidun ratkaisun välillä oli noin 37% ja osa B:n tapauksessa noin 42%. Taulukossa 6 yhteenvetona prosentuaaliset tulokset aikakriittisten osien A ja B kuljetuksista, joissa verrattu osien tavoiteaika, manuaalista siirtoaikaa, robotin siirtoaikaa sekä näiden välisiä eroja.

Taulukko 6. Yhteenveto lopullisista kuljetustuloksista.

	Tavoiteaika	Manuaalinen siirtoaika	Lopullinen robotin siirtoaika	Tavoitteen ja robotin ero	Manuaalisen ja robotin ero
Osa A	100	76,963	39,85	60,15	37,113
Osa B	100	83,686	41,634	58,366	42,052

Lyhyempi materiaalikärryjen siirtoaika mahdollistaa sen, että varaston ja tuotannon välinen kiire kuljetuksissa laskee. Automatisoinnilla säästetään myös

sitä työaika, mikä työntekijöiltä muuten kuluisi materiaalikärryjen siirtämiseen kahden alueen välillä.

Työntekijöiden säästämä aika helpottaa työkiireitä kummallakin puolella, varastossa ja tuotannossa. Tämän lisäksi riski sille, että materiaalikärryn myöhästyminen johtaisi tuotannollisiin viivästyksiin pienenee.

9.2 Sovellus tulevaisuudessa

Robottien tehtävien käskytyks varastolla toimii yhä Fleet-järjestelmän kautta. Tämä on hankala ja kömpelö tapa ohjeistaa useaa robottia ja eri tehtäviä. Tehtävien jakamisen helpottamiseksi suunnitteilla on yhdistää robottien käskytyks varastohallintajärjestelmän yhteyteen siten, että kun materiaali tilataan ja on kuitattu varastosta, saa robotti tehtävän ja lähtee kuljettamaan materiaalikärryjä.

Jokaisella osalla on toistaiseksi yksi tehtävä, joilla kuljetus tapahtuu. Tämä vaatii, että materiaalityösuorituksen suorittamiseksi tulee täyttyä ne ehdot joilla tehtävä toimii. Esimerkiksi osien A ja B kanssa on aina oltava tyhjä kärry noudettavana, kun tilaus uudelle materiaalikärrylle tehdään. Tämän helpottamiseksi jatkossa tutkitaan onko mahdollista luoda yhdelle osalle monta eri tehtävää, jolloin voidaan automatisoida nekin tapaukset joihin nykyinen tehtävä ei sovellu.

Materiaalikuljetusrobottien matala käyttöaste mahdollistaa näiden sovelluksen muihinkin kuljetuksiin. Tulevaisuudessa on tarkoitus lisätä isojen osien lisäksi pienten materiaalityösuorituspakkausten kuljetus varastosta tuotantoon opinnäytetyössä käytettyjen robottien tehtäväksi.

Mobiiliroboteilla automatisointi antoi niin hyvän kuvan mahdollisuuksista ja toteutuksesta, että Salon akkutehtaan lisäksi mobiilirobotiikkaa tullaan harkitsemaan yleiseksi standardisoiduksi käytännöksi Valmet Automotive EV Power Oy:n muissakin toimitiloissa. Erilaisia käyttökohteita ja toimituksia voidaan automatisoida näillä useissa eri tapauksissa.

Lähteet

Automation.com 2019. Mobile Industrial Robots releases MiR1000 autonomous mobile robot. Viitattu 24.5.202. <https://www.automation.com/en-us/products/product01/mobile-industrial-robots-releases-mir1000-autonomo>

Berndt M.; Krummacker D.; Fischer C. & Schotten H. D. 2021. Centralized Robotic Fleet Coordination and Control. Artikkelii IEEEExplore-palvelussa. Vaatii kirjautumisen palveluun. Viitattu 23.5.2023. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9657192>

Heippafossiilit: Mitä teemme. 2023. Heippafossiilit-sivusto. Viitattu 15.5.2023. <https://heippafossiilit.fi/mita-teemme/>

Mobile Industrial Robots. 2021. MiR Robot Reference Guide. Vuoden 2021 painos. Odense: Mobile Industrial Robots A/S.

Mobile Industrial Robots: About MiR. 2023. Mobile Industrial Robots-sivusto. Viitattu 25.5.2023. <https://www.mobile-industrial-robots.com/about-mir/>

Mobile Industrial Robots: MiR History. 2023. Mobile Industrial Robots-sivusto. Viitattu 25.5.2023. <https://www.mobile-industrial-robots.com/about-mir/mir-history/>

Mobile Industrial Robots: Robots. 2023. Mobile Industrial Robots-sivusto. Viitattu 25.5.2023. <https://www.mobile-industrial-robots.com/solutions/robots/>

Moshayedi A. J.; Xu G.; Liao L. & Kolahdoz A. 2021. Gentle Survey on MIR Industrial Service Robots: Review & Design. ResearchGate. Viitattu 23.5.2023. https://www.researchgate.net/publication/351392275_Gentle_Survey_on_MIR_Industrial_Service_Robots_Review_Design

Raj R. & Kos A. 2022. A Comprehensive Study of Mobile Robot: History, Developments, Applications, and Future Research Perspectives. ResearchGate. Viitattu 15.5.2023. https://www.researchgate.net/publication/361860812_A_Comprehensive_Study_of_Mobile_Robot_History_Developments_Applications_and_Future_Research_Perspectives

Rubio F.; Valero F. & Llopis-Albert C. 2019. A review of mobile robots: Concepts, methods, theoretical framework, and applications. SAGE journals. Viitattu 23.5.2023.

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

Siegwart R. & Nourbakhsh I. R. 2004. Introduction to Autonomous Mobile Robots. 1. painos. Lontoo: The MIT Press.

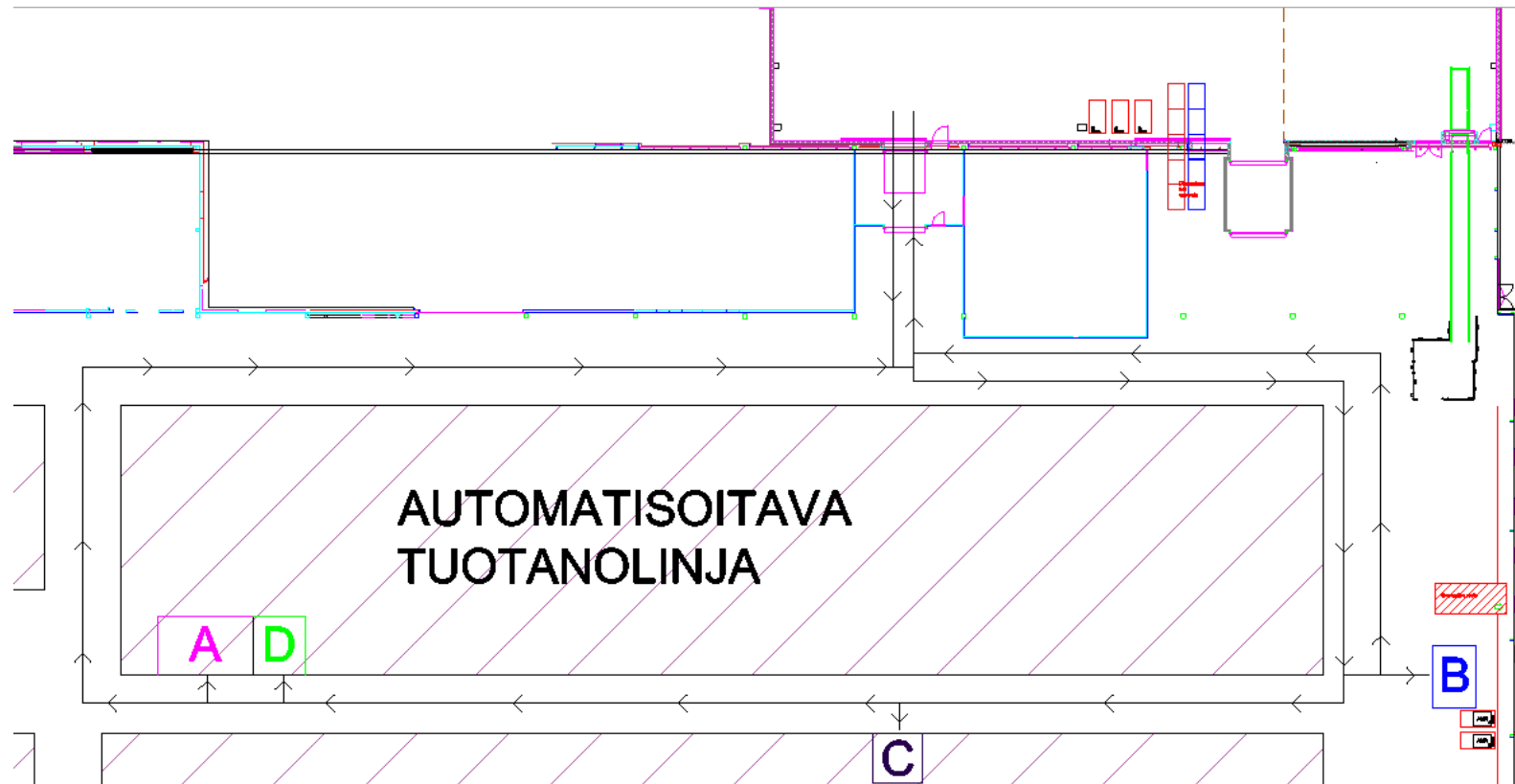
Valmet Automotive: Yritys. 2023. Valmet Automotive-sivusto. Viitattu 7.3.2023.

<https://www.valmet-automotive.com/fi/yritys/>

Wade M. 2022. VDA 5050 EXPLAINED – AN OVERVIEW OF THE EVOLVING AGV COMMUNICATION STANDARD. BlueBotics-sivusto. Viitattu 23.5.2023.

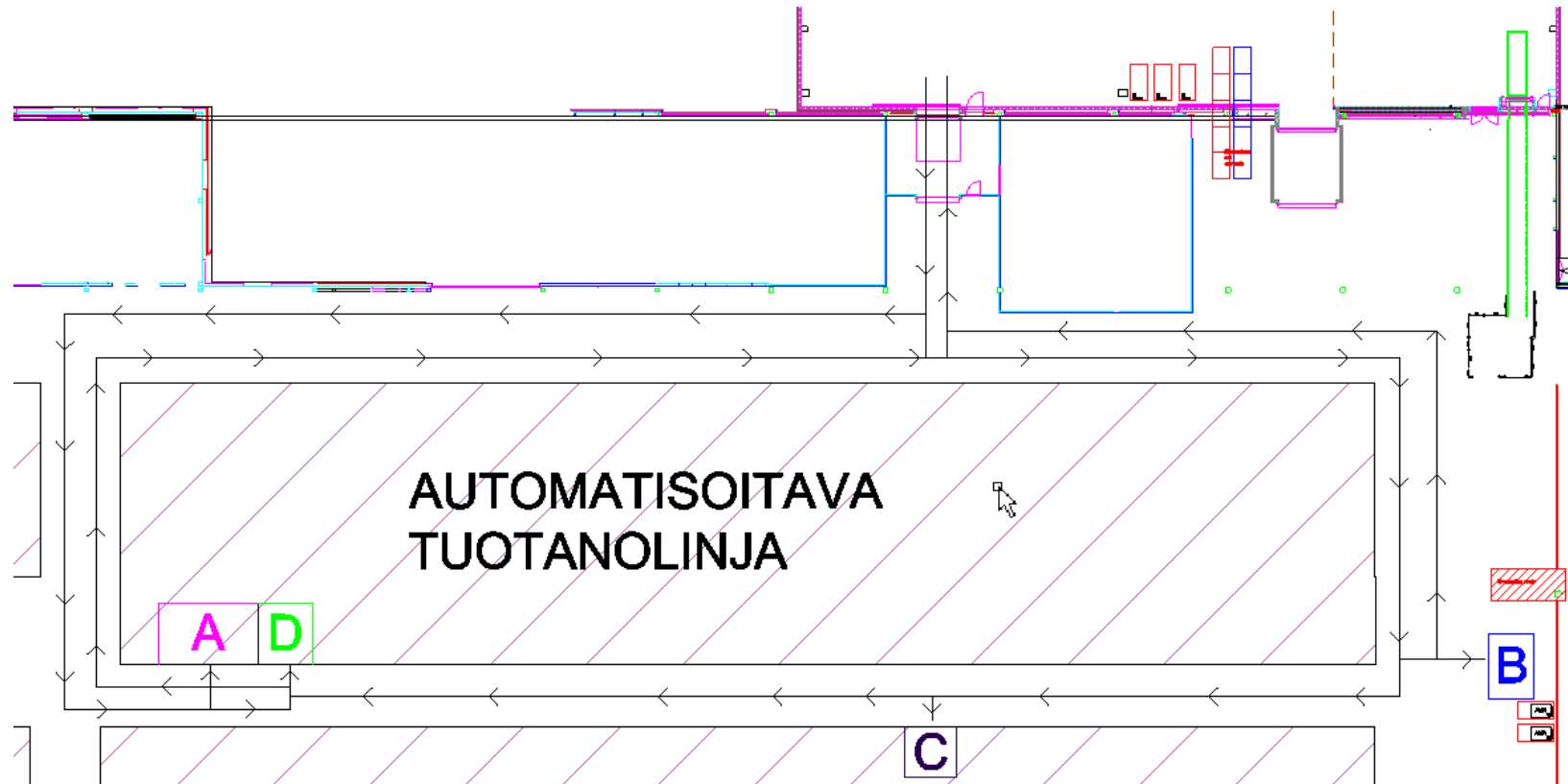
<https://bluebotics.com/vda-5050-explained-agv-communication-standard/>

Alkuperäinen suunnitelma robottikuljetusten reititykselle



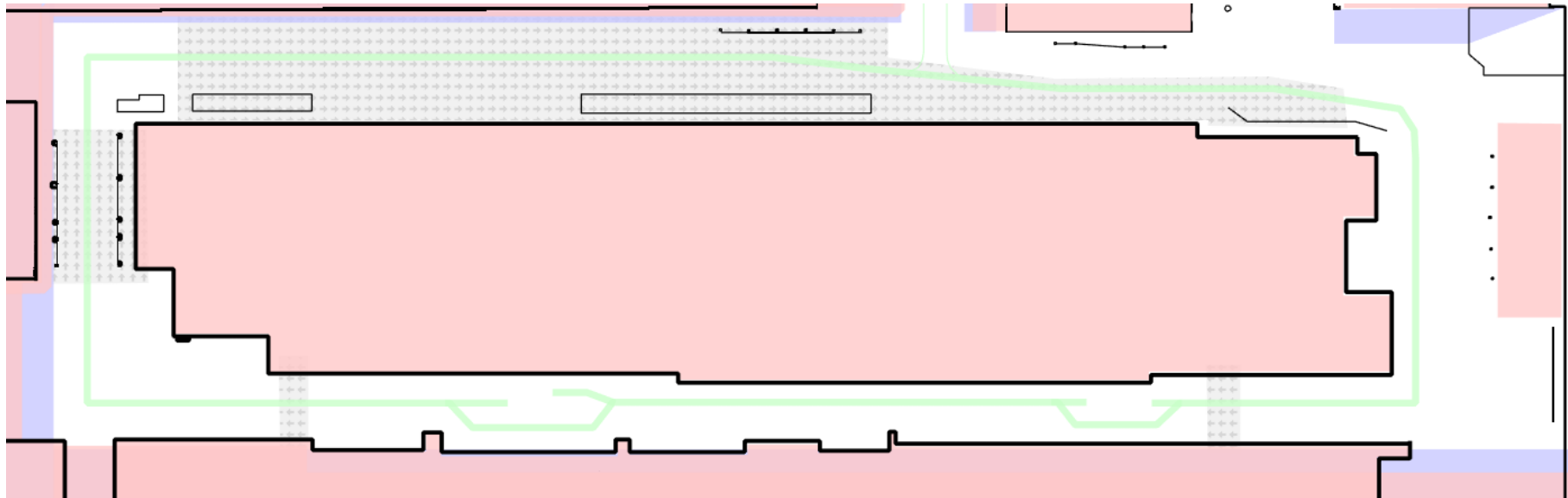
Kuva 59. Alkuperäinen reitityssuunnitelma isoille osille.

Paranneltu uusi suunnitelma robottikuljetusten reititykselle



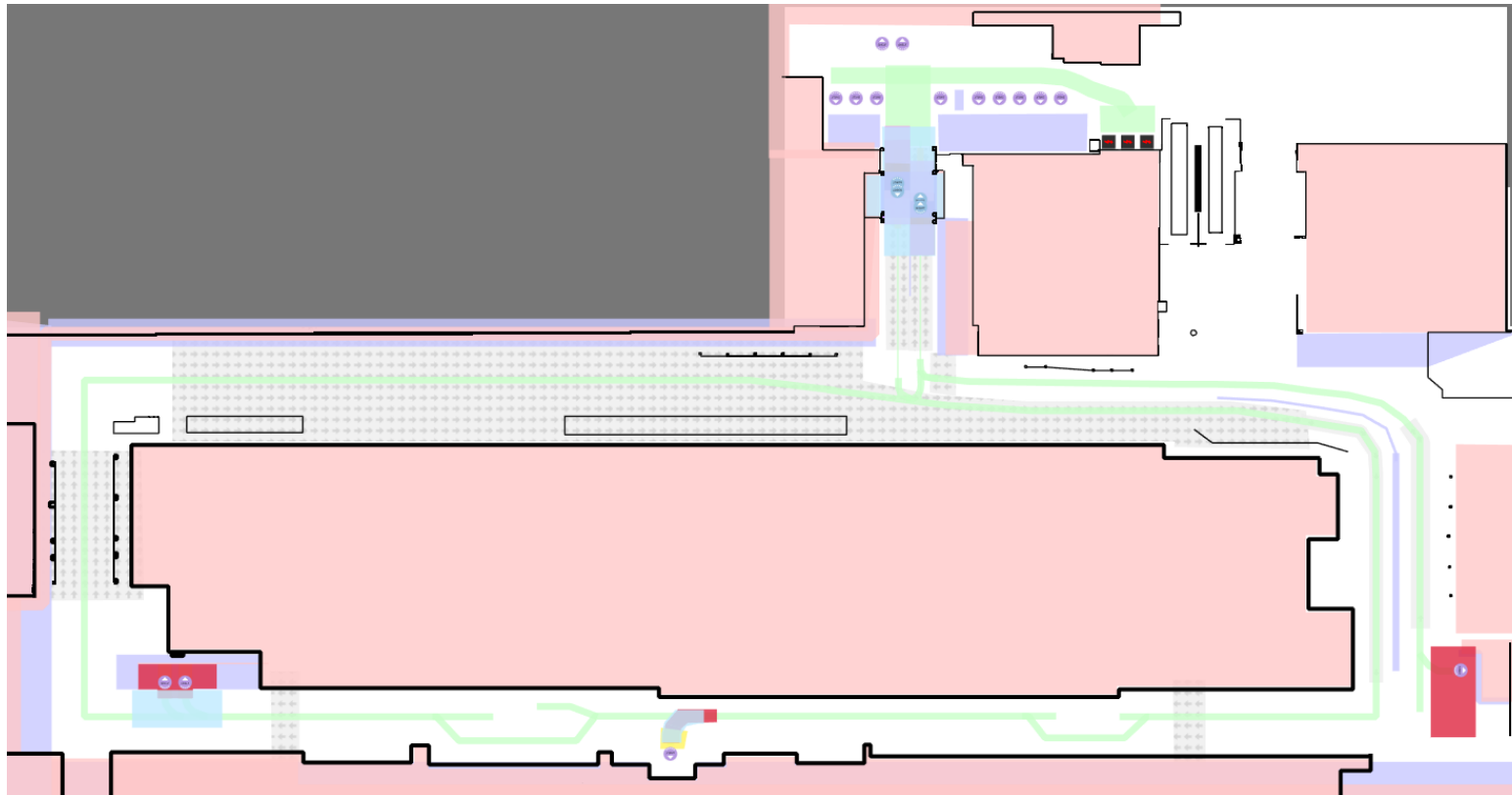
Kuva 60. Uusi reitityssuunnitelma isoille osille osien A ja D suuntamuutoksella.

Fleet kartoituksen alkutilanne



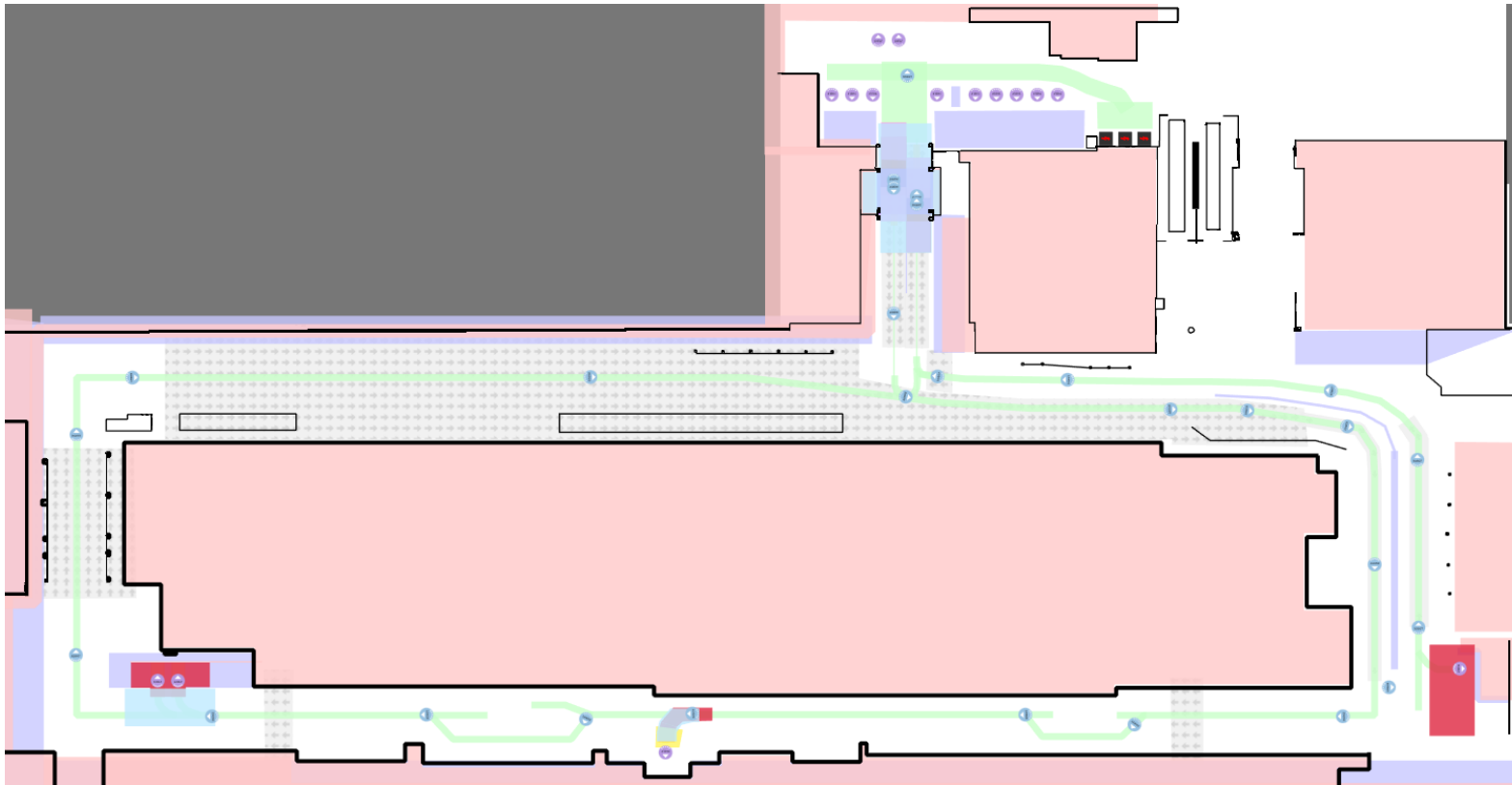
Kuva 61. Fleet kartoituksen aikaisemmat reitit ennen tehtyjä lisäyksiä.

Fleet kartoitus varaston ja isojen osien reitityksillä



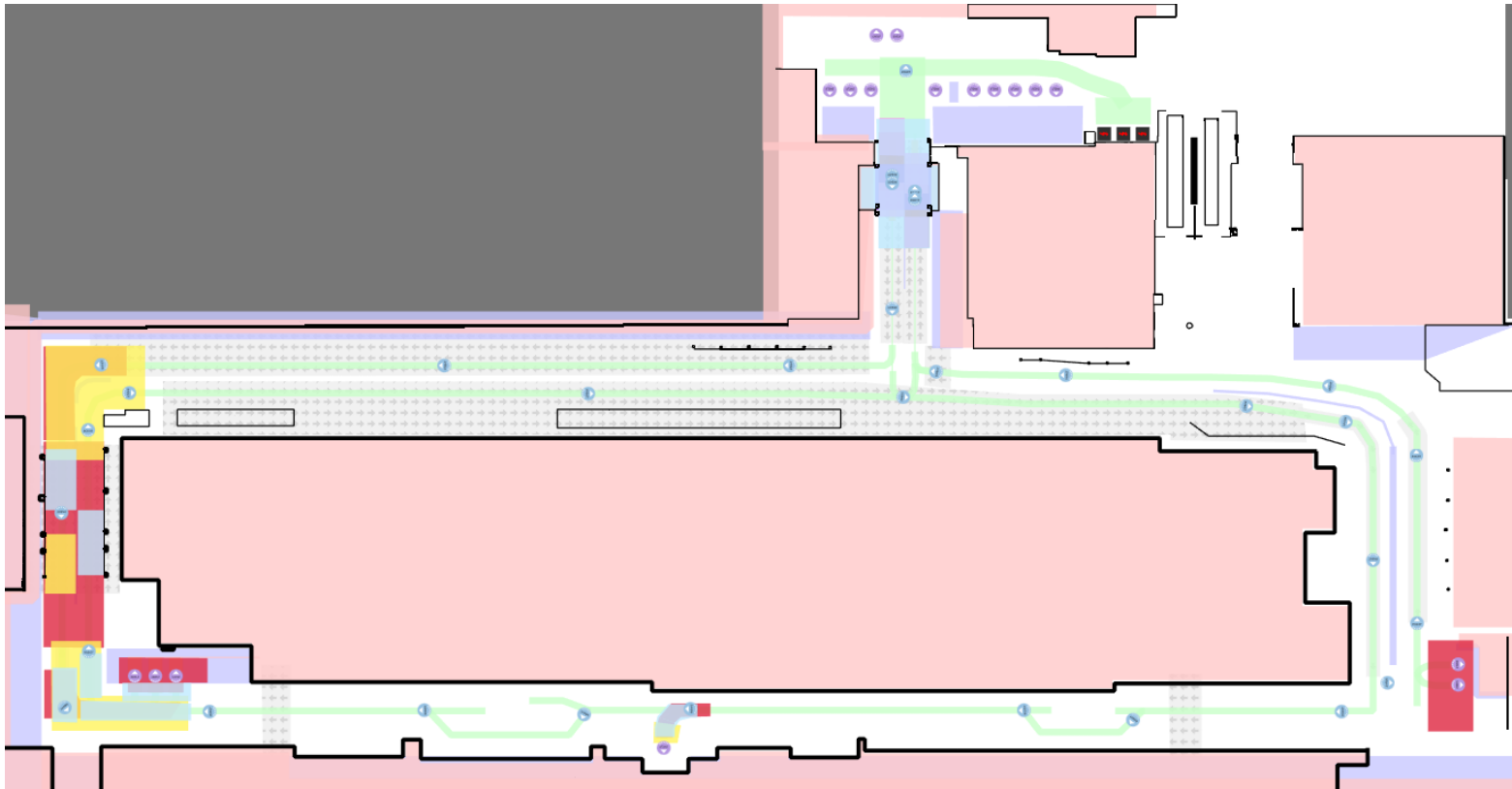
Kuva 62. Varaston, välitilan ja isojen osien reititys sekä Fleet alueet.

Fleet kartoitukseen lisätyt ajopisteet path guideja varten



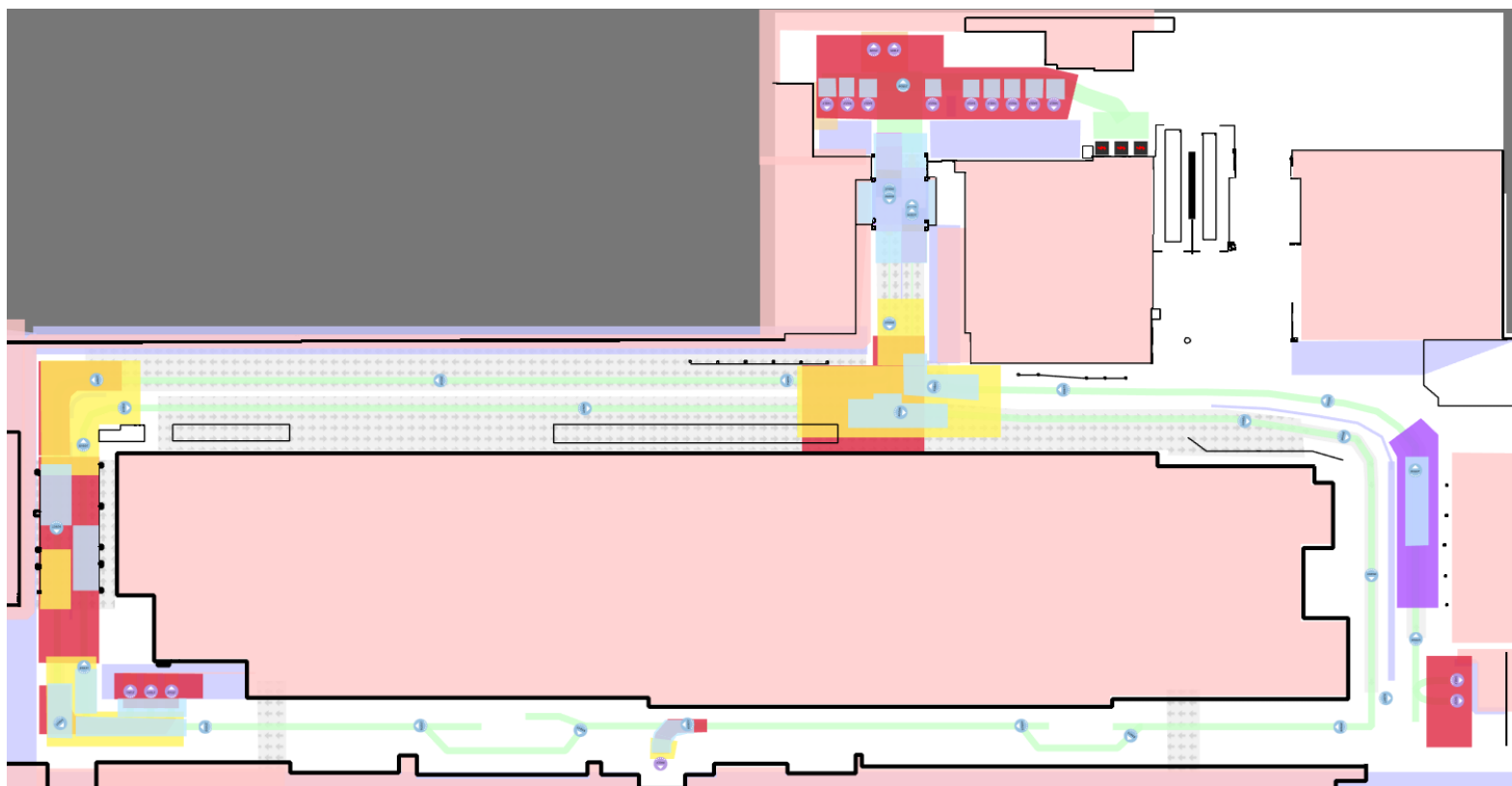
Kuva 63. Ajopisteet isojen osien path guide:jen luomiseen.

Fleet kartoitus osien A ja D kaksisuuntaisella reitityksellä



Kuva 64. Osien A ja D kaksisuuntainen kuljetus ja lisätyt Fleet alueet.

Lopullinen Fleet kartoitus



Kuva 65. Implementoitu Fleet kartoitus isojen osien kuljetukselle.

Osien A ja D yksisuuntaisen kuljetuksen path guide tuotantoon

Start positions	Waypoints	Goal positions
Laturi_Esim1 <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Odotu_Tuotantoon1 <input type="checkbox"/>	OsaA_Jatto <input type="checkbox"/>
Laturi_Esim2 <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Sisaan_Tuotantoon1 <input type="checkbox"/>	OsaD_Jatto <input type="checkbox"/>
Laturi_Esim3 <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Valitilasta_Tuotantoon_Ajopiste <input type="checkbox"/>	<input type="button" value="Add goal"/>
Nouto2 <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Valitila_Risteys_Ajopiste <input type="checkbox"/>	
Nouto4 <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> IsotOsat_OY1 <input type="checkbox"/>	
<input type="button" value="Add start"/>	<input type="checkbox"/> IsotOsat_OK <input type="checkbox"/>	
	<input type="checkbox"/> IsotOsat_OA <input type="checkbox"/>	
	<input type="checkbox"/> IsotOsat_Kierto1 <input type="checkbox"/>	
	<input type="checkbox"/> IsotOsat_Kierto2 <input type="checkbox"/>	
	<input type="checkbox"/> OsaAjaD_Jatto_Apupiste <input type="checkbox"/>	
	<input type="button" value="Add waypoint"/>	

Kuva 66. Osien A ja D ensimmäinen tuotantoon vievä path guide.

Osien A ja D kaksisuuntaisen kuljetuksen path guide tuotantoon

Start positions	Waypoints	Goal positions
Laturi_Esim1 <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Odota_Tuotantoon1 <input type="checkbox"/>	OsaA_Jatto <input type="checkbox"/>
Laturi_Esim2 <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Sisaan_Tuotantoon1 <input type="checkbox"/>	OsaA_Nouto <input type="checkbox"/>
Laturi_Esim3 <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Valitilasta_Tuotantoon_Ajopiste <input type="checkbox"/>	OsaD_Jatto <input type="checkbox"/>
Nouto2 <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> OsaAjaD_Vienti1 <input type="checkbox"/>	<input type="button" value="Add goal"/>
Nouto4 <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> OsaAjaD_Vienti2 <input type="checkbox"/>	
<input type="button" value="Add start"/>	<input type="checkbox"/> OsaAjaD_Vienti3 <input type="checkbox"/>	
	<input type="checkbox"/> OsaAjaD_Vienti4 <input type="checkbox"/>	
	<input type="checkbox"/> OsaAjaD_Vienti5 <input type="checkbox"/>	
	<input type="button" value="Add waypoint"/>	

Kuva 67. Osien A ja D paranneltu tuotantoon vievä path guide.

Osien A ja D path guide varastoon

Start positions	Waypoints	Goal positions
OsaA_Jatto <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> IsotOsat_Paluu1 <input type="checkbox"/>	Jatto1 <input type="checkbox"/>
OsaD_Jatto <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> IsotOsat_Paluu2 <input type="checkbox"/>	Jatto2 <input type="checkbox"/>
<input type="button" value="Add start"/>	<input type="checkbox"/> IsotOsat_Paluu3 <input type="checkbox"/>	Laturi_Esim1 <input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/> IsotOsat_Paluu4 <input type="checkbox"/>	Laturi_Esim2 <input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/> Valitila_Risteys_Ajopiste <input type="checkbox"/>	Laturi_Esim3 <input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/> Odota_Varastoon <input type="checkbox"/>	<input type="button" value="Add goal"/>
	<input type="checkbox"/> Sisaan_Varastoon <input type="checkbox"/>	
	<input type="checkbox"/> Varasto_Jattoalue <input type="checkbox"/>	
	<input type="button" value="Add waypoint"/>	

Kuva 68. Osien A ja D varastoon vievä path guide.

Osa B path guide tuotantoon

Start positions	Waypoints	Goal positions
Laturi_Esim1 <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Odotu_Tuotantoon1 <input type="checkbox"/>	OsaB_Jatto <input type="checkbox"/>
Laturi_Esim2 <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Sisaan_Tuotantoon1 <input type="checkbox"/>	<input type="button" value="Add goal"/>
Laturi_Esim3 <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Valitilasta_Tuotantoon_Ajopiste <input type="checkbox"/>	
Nouto5 <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Valitila_Risteys_Ajopiste <input type="checkbox"/>	
<input type="button" value="Add start"/>	<input type="checkbox"/> IsotOsat_OY1 <input type="checkbox"/>	
	<input type="checkbox"/> IsotOsat_OK <input type="checkbox"/>	
	<input type="checkbox"/> OsaB_Jatto_Ajopiste <input type="checkbox"/>	
	<input type="button" value="Add waypoint"/>	

Kuva 69. Osa B:n tuotantoon vievä path guide.

Osa B path guide varastoon

Start positions	Waypoints	Goal positions
OsaB_Jatto ✖	OsaB_Paluu1 ✖	Jatto1 ✖
Add start	OsaB_Paluu2 ✖	Jatto2 ✖
	OsaB_Paluu3 ✖	Laturi_Esim1 ✖
	OsaB_Paluu4 ✖	Laturi_Esim2 ✖
	OsaB_Paluu5 ✖	Laturi_Esim3 ✖
	Odota_Varastoon ✖	Add goal
	Sisaan_Varastoon ✖	
	Varasto_Jattoalue ✖	
	Add waypoint	

Kuva 70. Osa B:n varastoon vievä path guide.

Osa C path guide tuotantoon

Start positions	Waypoints	Goal positions
Laturi_Esim1 <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Odota_Tuotantoon1 <input type="checkbox"/>	OsaC_Jatto <input type="checkbox"/>
Laturi_Esim2 <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Sisaan_Tuotantoon1 <input type="checkbox"/>	<input type="button" value="Add goal"/>
Laturi_Esim3 <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Valitilasta_Tuotantoon_Ajopiste <input type="checkbox"/>	
Nouto3 <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Valitila_Risteys_Ajopiste <input type="checkbox"/>	
<input type="button" value="Add start"/>	<input type="checkbox"/> IsotOsat_OY1 <input type="checkbox"/>	
	<input type="checkbox"/> IsotOsat_OK <input type="checkbox"/>	
	<input type="checkbox"/> IsotOsat_OA <input type="checkbox"/>	
	<input type="checkbox"/> IsotOsat_Kierto1 <input type="checkbox"/>	
	<input type="checkbox"/> OsaC_Jatto_Ajopiste <input type="checkbox"/>	
	<input type="button" value="Add waypoint"/>	

Kuva 71. Osa C:n tuotantoon vievä path guide.

Osa C path guide varastoon

Start positions	Waypoints	Goal positions
OsaC_Jatto ✖	IsotOsat_Kierto3 ✖	Jatto1 ✖
Add start	OsaAjaD_Jatto_Apupiste ✖	Jatto2 ✖
	IsotOsat_Paluu1 ✖	Laturi_Esim1 ✖
	IsotOsat_Paluu2 ✖	Laturi_Esim2 ✖
	IsotOsat_Paluu3 ✖	Laturi_Esim3 ✖
	IsotOsat_Paluu4 ✖	Add goal
	Valitila_Risteys_Ajopiste ✖	
	Odotu_Varastoon ✖	
	Sisaan_Varastoon ✖	
	Varasto_Jattoalue ✖	
	Add waypoint	

Kuva 72. Osa C:n varastoon vievä path guide.