



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU  
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Joni Ketola

---

## Sisälogistiikan automatisointi

Opinnäytetyö

Kevät 2025

Insinööri (ylempi AMK), Automaatiotekniikka



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

## Opinnäytetyön tiivistelmä

Tutkinto-ohjelma: Insinööri (ylempi AMK), Automaatiotekniikka

Tekijä: Joni Ketola

Työn nimi: Sisälogistiikan automatisointi

Ohjaaja: Petteri Mäkelä

Vuosi: 2025

Sivumäärä: 36

---

Tämän työn tavoitteena oli selvittää, millaisia mobiilirobotteja on saatavilla sisälogistiikan käyttöön, mihin tehtäviin niitä voidaan hyödyntää ja soveltuvatko ne MSK Cabins Oy:n tuotantoon. Työn teoriaosuudessa tarkasteltiin AGV- ja AMR-mobiilirobottien eroja sekä niiden etuja ja haasteita. Lisäksi käsiteltiin mobiilirobottien eri tyyppisiä ja niiden käyttökohteita. Mobiilirobottien turvallisuutta ja siihen liittyviä standardeja käsiteltiin erillisessä turvallisuusosiossa.

Kehitystyöosuudessa toteutettiin nykytilan kartoitus, jossa selvitettiin mobiiliroboteille sopivia materiaalin siirtokohteita sisälogistiikassa. Nykytilan kartoituksesta saatiin arvokasta taustatietoa tuotannon simulointia varten. Simuloinnin avulla arvioitiin mobiilirobotin soveltuvuutta kohdeyrityksen sisälogistiikkaan sekä sen potentiaalista käyttöastetta.

Simulointitulokset tarjoavat tärkeää tietoa siitä, millaisiin tehtäviin mobiilirobotti soveltuu yrityksen tuotannossa. Tuloksista käy ilmi, että mobiilirobottia voidaan hyödyntää tehokkaasti nykyisellä layoutilla.

Lisäksi kehitystyössä tutkittiin yleisellä tasolla mobiilirobotin liittämistä tuotannonohjausjärjestelmään. Lopuksi käsiteltiin mobiilirobotin hankinnan kustannusrakennetta sekä siihen vaikuttavia tekijöitä.

<sup>1</sup> Asiasanat: miehittämättömät ajoneuvot, logistiikka, simulointi.

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

## Thesis abstract

Degree programme: Master of Engineering, Automation Engineering

Author: Joni Ketola

Title of thesis: Automation of internal logistics

Supervisor: Petteri Mäkelä

Year:2025

Number of pages:36

---

The aim of the study was to examine the availability of mobile robots for internal logistics, explore the types of tasks they can be used for and whether they are suitable for the production of MSK Cabins Oy. The theoretical section of the study analyzed the differences between AGV and AMR mobile robots, highlighting their advantages and disadvantages. The theoretical section also examined different types of mobile robots and their areas of application. The safety of mobile robots and the closely related standards were examined in the section dedicated to robot safety

The development section included a current state analysis, identifying material transfer points suitable for mobile robots within internal logistics. The findings provided a solid foundation for production simulations, which assessed the feasibility of mobile robots for the internal logistics of the company and evaluated their potential utilization rate.

The simulation results offered valuable insights into the types of tasks mobile robots could perform in the production of the company. The results confirmed that mobile robots could be effectively utilized within the existing layout.

Furthermore, the development work provided a rough examination of how mobile robots could be integrated into the ERP system. Lastly, the study outlined the cost structure of acquiring mobile robots and the key factors influencing cost.

<sup>1</sup> Keywords: unmanned vehicles, logistics, simulation.

## SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä .....	2
Thesis abstract .....	3
SISÄLTÖ .....	4
Kuva- ja kuvioluettelo.....	5
Käytetyt termit ja lyhenteet.....	7
1 JOHDANTO .....	8
1.1 Työn tausta .....	8
1.2 Työn tavoite.....	9
1.3 Tutkimusmenetelmät.....	9
2 MOBIILIROBOTIIKKA .....	10
2.1 Mobiilirobotit logistiikassa.....	12
2.1.1 Pinoaminen.....	12
2.1.2 Hyllytys.....	13
2.1.3 Materiaalin siirto ja keräily.....	15
2.2 Mobiilirobottien paikannustekniikat.....	18
2.3 Mobiilirobottien turvallisuus .....	21
3 KEHITYSTYÖ.....	24
3.1 Nykytilan tutkimus .....	24
3.2 Konseptien simulointi .....	25
3.2.1 Tehdaslayout .....	26
3.2.2 Reittien määrittäminen .....	26
3.2.3 Prosessin määrittäminen.....	27
3.2.4 Simuloinnin tulokset .....	29
3.3 Mobiilirobotin liittäminen tuotannonohjausjärjestelmään .....	30
3.4 Kustannusrakenne .....	31
4 YHTEENVETO .....	33
LÄHTEET .....	35

## Kuva- ja kuvioluettelo

Kuva 1. Toyota SAE 160 BT staxio pinoamistrukki (Toyota material handling, henkilökohtainen tiedonanto, 23.1.2025).	13
Kuva 2. Toyota RAE160 työntömastotrukki (Toyota material handling, henkilökohtainen tiedonanto, 23.1.2025).	14
Kuva 3. Toyota OAE120 vastapainotrukki (Toyota material handling, henkilökohtainen tiedonanto, 23.1.2025).	15
Kuva 4. Toyota CDI120 haarukaton lavansiirtovaunu (Toyota material handling, henkilökohtainen tiedonanto, 23.1.2025).	16
Kuva 5. Kuljettimella varustettu AMR-vaunu.	16
Kuva 6. Keräily AGV.	17
Kuva 7. Toyota TAE500 vetotrukki (Toyota material handling, henkilökohtainen tiedonanto, 23.1.2025).	18
Kuva 8. Visual Components tehdaslayout.	26
Kuva 9. Mobiilirobotin reittien luonti.	27
Kuva 10. AGV kuljettaa eurolavaa.	28
Kuva 11. Flow-komponentti.	29
Kuva 12. Mobiilirobotin käyttöaste.	30
Kuvio 1. AGV ja AMR eroavaisuuden havainnekuva.	11
Kuvio 2. Lasernavigoinnin toimintaperiaate.	20
Kuvio 3. Trukin maksiminopeus eri tilanteissa (perustuu SFS, 2023, taulukko A1).	22
Kuvio 4. Kuormalavahyllystön vapaaväli vaatimukset (Perustuu SFS, 2021, taulukko 4).	23

Kuvio 5. Laitteiston hallinta (perustuu AGV network, 2024, luku 1). .....	31
---	----

## Käytetyt termit ja lyhenteet

<b>AGV</b>	Automated guided vehicle. Automaattisesti ohjautuva ajoneuvo, joka seuraa ennalta määritettyä reittiä
<b>AMR</b>	Autonomous mobile robot. Autonominen mobiili robotti, joka pystyy navigoimaan haluttuun paikkaan autonomisesti ilman ennalta määritettyä reittiä.
<b>AUV</b>	Autonomus underwater vehicle. Veden alla automaattisesti liikkuva ajoneuvo.
<b>ERP</b>	Enterprise resource planning. Toiminnanohjausjärjestelmäohjelmisto, jolla pystytään ohjaamaan ja suunnittelemaan toimintoja ja resurssien käyttöä.
<b>LGV</b>	Laser guided vehicle. Laserohjattujoneuvo.
<b>LIDAR</b>	Light detection and ranging. Valotutkaus.
<b>MES</b>	Manufacturing execution system. Valmistuksenohjausjärjestelmäohjelmisto, jolla pystytään ohjaamaan valmistusprosessia.
<b>SLAM</b>	Simultaneous localization and mapping. Samanaikainen paikannus ja kartoittaminen.
<b>UAV</b>	Unmanned aerial vehicle. Miehittämätön ilmassa liikkuva ajoneuvo
<b>UGV</b>	Unmanned ground vehicle. Miehittämätön maalla liikkuva ajoneuvo
<b>WMS</b>	Warehouse management system. Varastohallintajärjestelmäohjelmisto, jolla pystytään hallitsemaan varastotoimintoja.

# 1 JOHDANTO

## 1.1 Työn tausta

Logistiikan maailmassa on meneillään isoja muutoksia. Muutokset koskettavat liiketoimintamallia, uusia teknologioita ja logistiikan radikaalia kehitystä. Kaikki nämä tarjoavat uhkia, sekä mahdollisuuksia (Toyota material handling, 2023, s. 5). Viimeisten vuosien aikana on tapahtunut nopeaa kehitystä tekoälyn ja reaaliaikaisen mobiilirobottien navigoinnin saralla. Työvoiman saatavuus on heikentynyt, jonka seurauksena yrityksillä on halu automatisoida yhä enemmän. Logistiikassa tyypillisiä automatisointikohteita ovat keräily, materiaalin siirto, inventointi ja lajittelu (Toyota material handling, 2024, s.17). Toisin kuin perinteiset kiinteän automaation muodot, kuten kuljetinhihnat, mobiilirobotit antavat mahdollisuuden skaalata ja mukauttaa toimintaa joustavasti. Mobiilirobottien hyödyntämisellä teollisuuden sisälogistiikassa voidaan vähentää manuaalista työtä ja päästä 20–40 % kustannussäästöihin (Waku Robotics, 2024, s.4).

Tämän työn tarkoitus on löytää keinoja kohdeyrityksen, MSK Cabins Oy:n, sisälogistiikan tehostamiseen mobiilirobotteja hyödyntäen. Kohdeyritys valmistaa työkoneiden turvaohjaamoja usealle asiakkaalle, ja niitä toimitetaan vuosittain yli 10000 kappaletta. MSK Cabins Oy kuuluu osaksi MSK Group konsernia. MSK Groupilla on Cabinsin lisäksi useita tytäryhtiöitä, joista Suomessa sijaitsee Junkkari Oy ja MSK Plast, Saksassa MSK Matec GmbH ja Slovakiassa MSK cabins s.r.o (MSK Group Oy, sisäinen tietolähde, 13.3.2025).

Ohjaamossa voi olla jopa 1000 komponenttia, jotka tulevat useilta eri toimittajilta. Valmistuksessa käsitellään päivittäin tuhansia materiaalipakkauksia, jotka täytyy toimittaa oikeaan aikaan ja oikeaan paikkaan. Materiaalin siirtoa tuotannossa ja varastoissa voidaan tehostaa erilaisilla automaatoratkaisuilla, kuten mobiiliroboteilla. Taustana työlle on asiakkaiden tavoite lisätä tuotantomääriä, ja sen seurauksena myös kohdeyrityksen on vastattava kasvaviin määriin sisälogistiikkaa tehostamalla.



## 1.2 Työn tavoite

Työn tavoitteena on löytää sisälogistiikasta kohteita, joissa voidaan hyödyntää mobiilirobotiikkaa. Työssä kartoitetaan, millaisia mobiilirobotteja on markkinoilla ja miten ne soveltuvat yrityksen tarpeisiin. Tavoitteena on lisätä myös yrityksen osaamista mobiilirobotiikasta

Tutkimuskysymyksiä ovat:

- Soveltuvatko mobiilirobotit kohdeyrityksen tuotantoon?
- Saadaanko simuloinnin avulla selvitettyä mahdollinen mobiilirobottien käyttöaste?
- Voidaanko mobiilirobotteja käyttää tehokkaasti nykyisessä tuotannossa?

Osana työtä on selvittää, miten mobiilirobotit saadaan osaksi yrityksessä käytössä olevaa tuotannonohjausjärjestelmää. Kohteiden löytämiseksi ja niiden automatisoinnin kannattavuuden arvioimiseksi hyödynnetään nykytilan tutkimusta, tuotannon simulointia ja mobiilirobottitoimittajien osaamista. Työ on rajattu koskemaan ainoastaan maassa kulkevia mobiilirobotteja.

## 1.3 Tutkimusmenetelmät

Työssä on perehdytty kirjallisuuden avulla erityyppisiin mobiilirobotteihin sekä niiden soveltamiseen sisälogistiikassa. Teoriaosuudessa käsitellään myös alan turvastandardeja ja mobiilirobottien paikannusta. Kirjallisuuden lisäksi tietoa on hankittu myös mobiilirobottien valmistajilta.

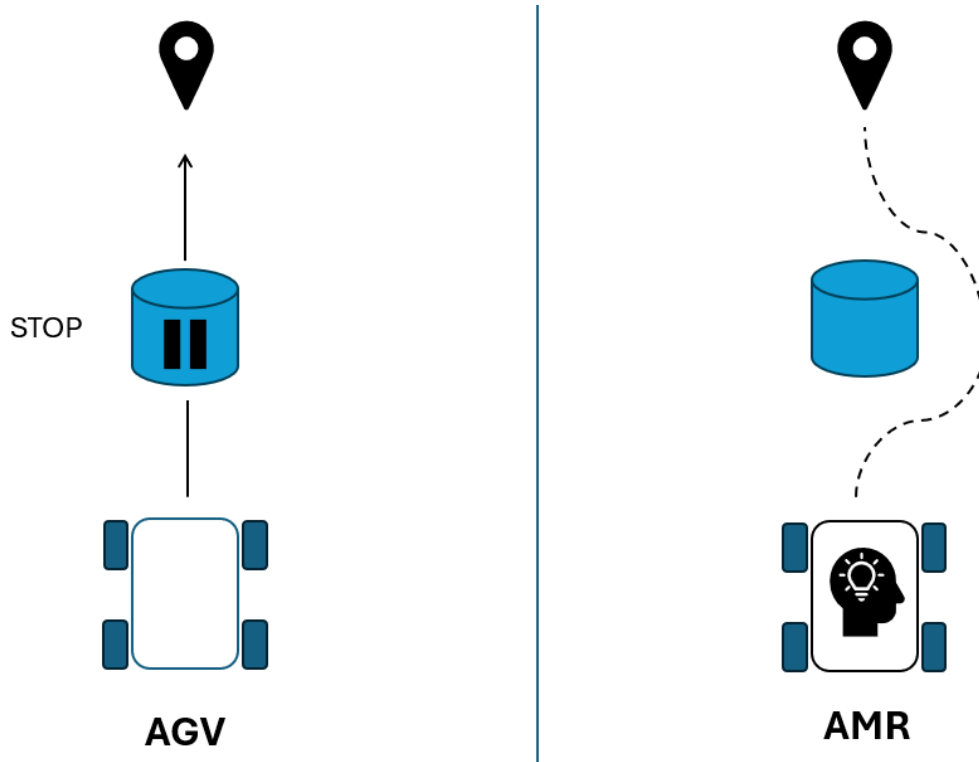
Mobiilirobottien soveltuvuutta yrityksen sisälogistiikkaan on tutkittu tuotannon simuloinnin avulla. Nykytilan kartoituksesta on saatu lähtötiedot simulointimallia varten. Simuloinnin lähtötiedoiksi tarvitaan siirrettävät kohteet, kohteiden määrä työvuoron aikana sekä siirtoreitit. Simuloinnin avulla on selvitetty muun muassa mobiilirobotin käyttöaste määrättyllä aikavälillä.

Työssä on myös tutkittu tuotannonohjausjärjestelmän liittämistä mobiilirobottien ohjausjärjestelmään sekä mobiilirobotin käyttöönoton kustannuksia.

## 2 MOBIILIROBOTIIKKA

Mobiilirobotilla tarkoitetaan liikkuvaa ohjelmoitavaa laitetta, joka liikkuu ennalta ohjelmoitua reittiä tai autonomisesti. Mobiilirobotit kuuluvat teollisuusrobottien tai palvelurobottien ryhmään sovelluskohteen mukaan (International Organization for Standardization (ISO), 2021, luku 3.7). Mobiilirobotit voidaan jaotella seuraaviin ryhmiin: miehittämättömät maalla liikkuvat ajoneuvot (unmanned ground vehicle, UGV), miehittämättömät ilmassa liikkuvat ajoneuvot (unmanned aerial vehicle, UAV) ja veden alla automaattisesti liikkuvat ajoneuvot (autonomous underwater vehicle, AUV) (Kagan ym., 2020, s. 2–8). Tässä työssä käsitellään ainoastaan maalla liikkuvia robotteja.

Lattialla liikkuvat mobiilirobotit jaetaan usein kahteen pääryhmään, automaattisesti ohjautuvat ajoneuvot (automated guided vehicle, AGV) ja autonomiset mobiilirobotit (Autonomous mobile robot AMR). AGV ryhmään kuuluvat ajoneuvot kulkevat kiinteästi ennalta määrättyllä reitillä käyttäen erilaisia tekniikoita sovelluksen mukaan. Tekniikoita on esimerkiksi laserkeilaus, viivakoodit tai lattiaan upotetut magneettinauhat (Välimäki ym., 2023, s. 142). Autonomiset mobiilirobotit eivät vaadi kiinteää ennalta määritettyä reittiä, vaan ne ohjautuvat autonomisesti haluttuun paikkaan kartoittamalla ympäristöään erilaisten anturien avulla, jolloin ne voivat navigoida erilaisten esteiden ohitse ja muuttaa reittiä ympäristön muuttuessa (Välimäki ym., 2023, s. 142). Kuviossa 1 on havainnollistettu AGV- ja AMR-robottien eroavaisuus.



Kuvio 1. AGV ja AMR eroavaisuuden havainnekuva.

AGV- ja AMR-ratkaisuissa on omat hyvät ja huonot puolet. On tärkeää ymmärtää oman tuotannon tarpeet ennen kuin tekee valinnan, kumman tyyppisellä ratkaisulla etenee. AGV-robotit soveltuvat rutiinitehtäviin, joissa materiaalivirta on hyvin vakio ja suhteellisen iso volyymiltään. Tällaisissa sovelluksissa hieman pidempikin takaisinmaksuaika voidaan hyväksyä (Mobile Industrial Robots, 2023). AGV-ratkaisuissa reittien muutokset vaativat usein paljon suunnittelua, asetusten muutoksia ja tuotannon keskeytyksiä. AGV pysähtyy esteen sattuessa reitille, mutta ei osaa kiertää sitä. Sen seurauksena esteet reitillä aiheuttavat viivästyksiä materiaalin kuljetuksessa. AGV-ratkaisun etu AMR-tekniikkaan on reitillä tarkasti pysyminen, nopeus ja rutiinitehtävien suoritusten ennakoitavuus. AMR-ratkaisun etuja ovat joustavat reitinvalintamahdollisuudet ja esteiden väistö, nopea muuteltavuus ja niiden kyky toimia samaan aikaan muiden laitteiden kanssa (Mobile Industrial Robots, 2023).

AGV- ja AMR-laitteiden hankintahintojen vertailu on haastavaa, koska AMR-vaunu on kalliimpi sen edistyneemmän navigointitekniikan takia. Riippuen tehtävän suoritukseen vaadittavasta kokonaisuudesta voi AGV-ratkaisu kuitenkin koitua huomattavan paljon kalliimmaksi erilaisten oheislaitteiden tarpeen takia, kuten lattiaan upotettavat magneettinauhat ja muut toimintaympäristöön asennettavat laitteet.

## 2.1 Mobiilirobotit logistiikassa

Mobiilirobotit tarjoavat tehokkaita ratkaisuja erilaisten materiaalien siirtoon sisälogistiikassa. Niillä voidaan kuljettaa laatikoita ja lavoja varaston, tuotantosolujen, tuotannon eri vaiheiden sekä lähettämön välillä (Logistiikan maailma, 2025). Lisäksi mobiilirobotteja voidaan hyödyntää karrujen kuljettamiseen tai rullakoiden vetämiseen, mikä parantaa materiaalivirtojen sujuvuutta ja automatisoi toistuvia prosesseja. Näihin tehtäviin on useita erilaisia ratkaisuja, joihin pureudutaan seuraavissa luvuissa tarkemmin. Tässä työssä keskitytään ainoastaan sisälogistiikassa käytettyihin mobiilirobotteihin.

### 2.1.1 Pinoaminen

Logistiikassa pinoaminen tarkoittaa tavaroiden tai materiaalien järjestämistä päällekkäin varastoinnin tai kuljetuksen aikana. Pinoaminen auttaa säästämään tilaa ja tehostamaan varastointia sekä kuljetusta. Pinoamiseen on saatavilla runsaasti erilaisia mobiilirobotteja eri valmistajilta. Pinoamistrukkien nostokorkeus on suhteellisen matala ja pinoamistrukit on usein varustettu tukipyörillä, minkä seurauksena ne ovat rajoitetusti soveltuvia hyllytykseen. Pinoamistrukit ovat kuitenkin todella monikäyttöisiä ja ne soveltuvat useimpiin sisälogistiikan töihin, ja siksi ne ovat yleisiä varastoissa. Muita etuja pinoamistrukissa on sen pieni kääntösäde ja lyhyt kokonaispituus. Kuvassa 1 on Toyota pinoamistrukki.



Kuva 1. Toyota SAE 160 BT staxio pinoamistrukki (Toyota material handling, henkilökohtainen tiedonanto, 23.1.2025).

## 2.1.2 Hyllytys

Työntömastotrukki soveltuu hyllytykseen hyvin ja sillä voidaan tehdä myös lavasiirtoja. Työntömastotrukilla voidaan työskennellä tehokkaasti kapeiden hyllystöjen välissä ja sillä pystytään lastaamaan korkeaan kuormalavahyllyyn vaivattomasti (Hokkanen & Virtanen, 2018, s. 103). Työntömastotrukissa masto ja lava liikkuu eteenpäin ja sivuttain, ja se helpottaa lavojen hyllytystä. Kuvassa 2 on Toyota työntömastotrukki.



Kuva 2. Toyota RAE160 työntömastotrukki (Toyota material handling, henkilökohtainen tiedonanto, 23.1.2025).

Hieman isommilla varastokäytävillä voidaan käyttää myös vastapainotrukkia, joka sopii moniin logistiikan tehtäviin aina autonlastauksesta hyllytykseen ja tavarantoimitukseen. Vastapainotrukkia kutsutaankin usein tavarantoimituksen yleiskoneeksi (Hokkanen & Virtanen, 2018, s. 103–104). Kuvassa 3 on Toyota vastapainotrukki.



Kuva 3. Toyota OAE120 vastapainotrukki (Toyota material handling, henkilökohtainen tiedonanto, 23.1.2025).

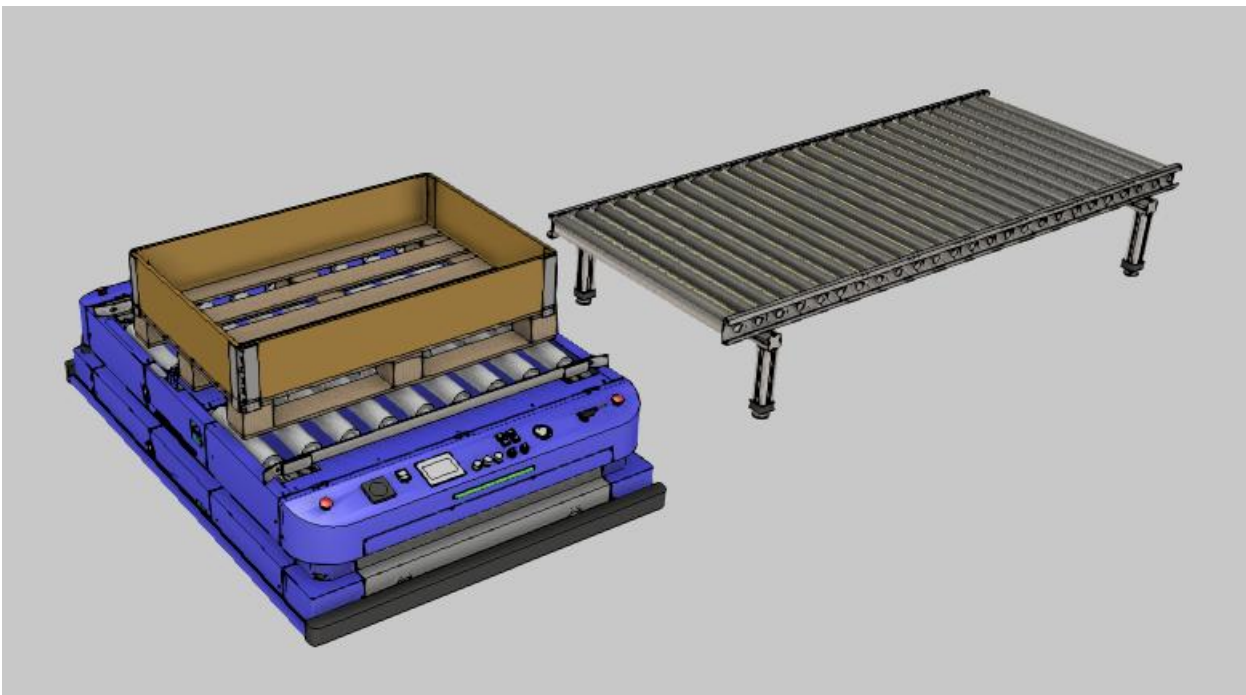
### **2.1.3 Materiaalin siirto ja keräily**

Materiaalin siirto paikasta toiseen on yleisin logistiikassa tapahtuva toiminto. Monentyypiseen materiaalin siirtoon löytyy runsaasti erilaisia mobiilivaunuja ja trukkeja. Yleisimpiä ovat lavansiirtovaunu tai lavansiirtotrukki ja vetotrukki. Haarukattomat lavansiirtovaunut on usein varustettu nosto- ja laskuominaisuudella, jotta vaunu pystyy lastaamaan ja purkamaan materiaalin itsenäisesti. Kuvassa 4 on Toyota haarukaton lavansiirtovaunu.



Kuva 4. Toyota CDI120 haarukaton lavansiirtovaunu (Toyota material handling, henkilökoh-  
tainen tiedonanto, 23.1.2025).

Mobiiliroboteissa voidaan käyttää myös integroitua kuljetinta vaunun päällä, jolloin mobiili-  
vaunu voi vastaanottaa tavaraa kuljettimelta ja siirtää materiaalin toiselle kuljettimelle tai  
muhun kohteeseen, vaikkapa rullakkoon. Kuvassa 5 on kuljettimella varustettu AMR-vaunu.



Kuva 5. Kuljettimella varustettu AMR-vaunu.

Kuvassa 6 on keräilyyn tarkoitettu AGV. Mobiilivaunujen kapasiteetti vaihtelee käyttötarkoi-  
tuksen mukaan noin 500 kg:sta aina 3000 kg:aan asti ja erityistapauksissa vieläkin isompia  
massoja pystytään käsittelemään (AGV network, 2024, luku 3). Mobiilivaunuille tyypillinen  
ominaisuus on sen matala rakenne, jotta se mahtuu siirrettävän materiaalin alle.





Kuva 6. Keräily AGV.

Keräilyyn sopii myös vetotrukki, jolla voidaan vetää perässä rullakoita tai muita pyörien päällä olevia materiaalivaunuja. Kuvassa 7 on Toyota vetotrukki.



Kuva 7. Toyota TAE500 vetotrukki (Toyota material handling, henkilökohtainen tiedonanto, 23.1.2025).

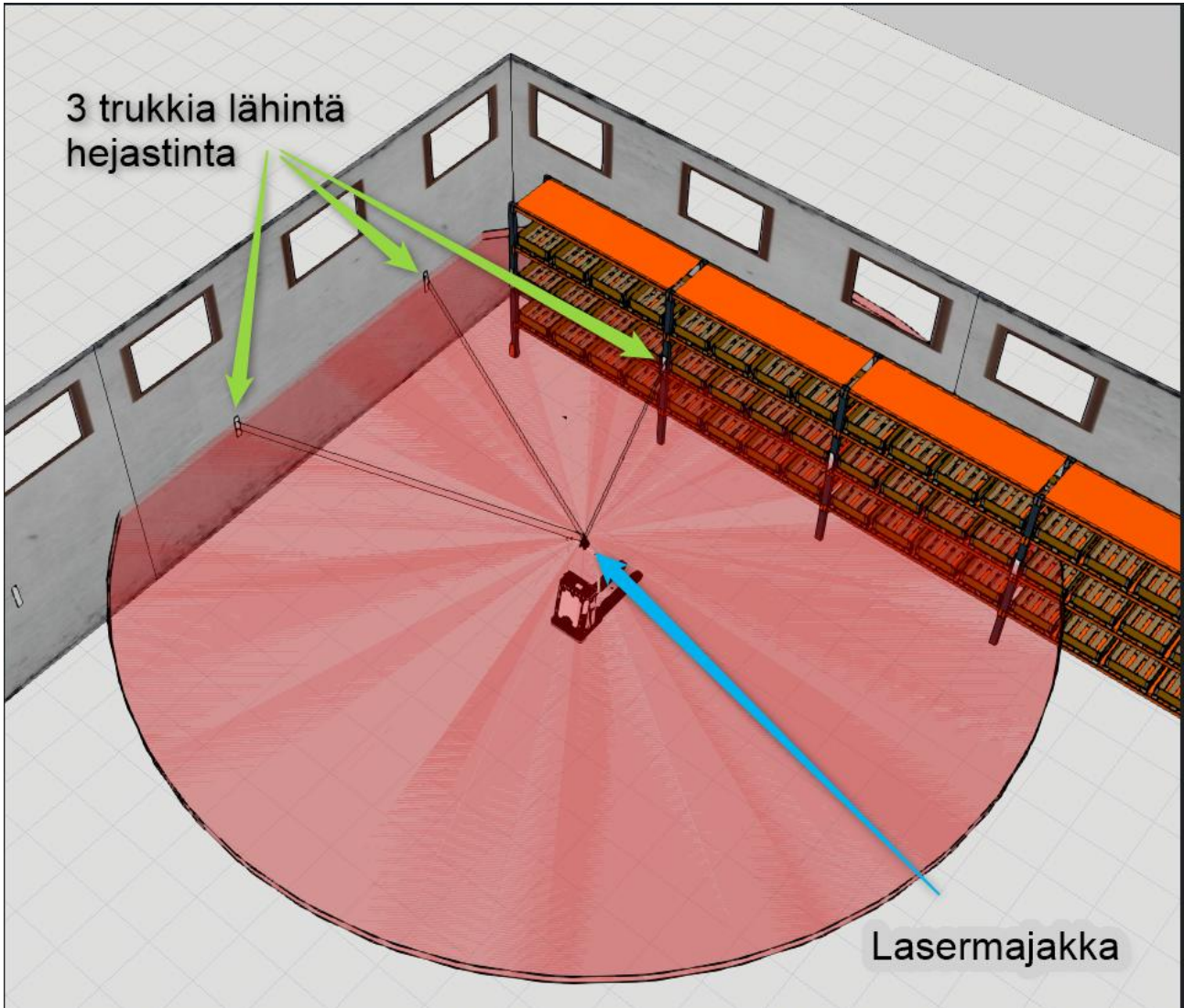
Rullakoita vedettäessä AGV-vetotrukilla on suunniteltava reitti siten, että vaunun ei tarvitse peruuttaa, koska se ei ole mahdollista rullakoiden arvaamattoman ohjautumisen takia. Vetotrukki ei myöskään pysty valvomaan vedettävien vaunujen ympäristöä, joten on erittäin tärkeää, että alueella työskentelevät ovat tietoisia riskeistä (AGV network, 2024, luku 3.2.4). Useiden valmistajien vetotrukit voivat itsenäisesti kytkeä ja irrottaa vaunut mutta on myös runsaasti manuaalisesti kytkettäviä versioita.

## 2.2 Mobiilirobottien paikannustekniikat

Siruteknologian ja algoritmien kehittyminen erityisesti kuvankäsittelyssä ja uuden tyyppiset anturit ovat antaneet mobiiliroboteille uusia ominaisuuksia, joiden seurauksena ne soveltuvat tuotantoympäristöön paremmin (Waku Robotics, 2024, s. 5). Tämä tarkoittaa, että mobiilirobotit pystyvät nyt havaitsemaan paremmin ympäröiviä esineitä ja reagoimaan ympäristössä tapahtuviin tilanteisiin nopeasti. Se tekee niistä hyvin soveltuvia esimerkiksi logistiikassa tapahtuvaan käsittelyyn, jossa erilaisten tilanteiden vaihtelu on liian suuri kaikkien mahdollisten tehtävien esiohjelmointiseksi.

Nykyaikaisissa mobiiliroboteissa tyypillisimmät navigointitekniikat ovat lasernavigointi (laser guided vehicle, LGV), magneettinauhanavigointi, magneettipistenavigointi ja vapaa navigointi (free navigation) (AGV network, 2024, luku 5). Vapaa navigointi ryhmään kuuluvat samanlainen paikannus ja kartoitus (Simultaneous localization and mapping, SLAM), lasertutkaaminen (Light detection and ranging, Lidar), konenäkö ja satelliittipaikannus (Global Navigation Satellite System, GNSS) tekniikat.

AGV-trukeissa tyypillisin navigointitapa on lasernavigointi, jota kutsutaan myös laserkeilaukseksi. Lasernavigoinnissa trukkiin kiinteästi kiinnitetty lasermajakka pyörii pysty akselinsa ympäri ja mittaa signaalin edestakaista kulkuaikaa ennalta määrättyissä paikoissa oleviin heijastimiin. Kulkuajoista laskettujen etäisyyksien perusteella pystytään määrittämään tarkasti trukin sijainti heijastimiin nähden (AGV Network, 2024, s. 88). Tällaisella navigoinnilla varustettuja ajoneuvoja kutsutaan LGV:ksi. Heijastimia täytyy olla LGV:n näkökentässä aina vähintään kolme, jotta kolmiomittaus pystytään suorittamaan ja sen perusteella sijainti määrittämään. Laserheijastin toimii maksimissaan 30 m etäisyydeltä lasermajakkaan nähden ja heijastimet tulee olla asennettu lasermajakan korkeudelle. LGV-trukit päivittävät tavanomaisesti sijaintitietonsa 30–40 kertaa sekunnissa, ja sen takia ne ovat erittäin tarkkoja. LGV-navigoinnin etuja ovat nopea käyttöönotto ja tarkka navigointi. Tarkka navigointi mahdollistaa mobiilirobotille jopa 2 m/s nopeuden käyttämisen turvallisesti. Huonoja puolia taas ovat reittimuutosten teon vaikeus, joka vaatii usein laitteen toimittajan muutoksia. Kuviossa 2 on esitetty lasernavigoinnin toimintaperiaate.



Kuvio 2. Lasernavigoinnin toimintaperiaate.

SLAM eli samanaikainen paikannus ja kartoitus on yleinen paikannustekniikka AMR-vaunuissa. SLAM-tekniikassa käytetään usein laserkeilainta ja lisäksi muita antureita, kuten inertia navigointiyksikköä, pyöräenkoodereita ja kameraa. SLAM-tekniikasta käytetään myös nimitystä vapaa kartoitus (Free mapping). Tässä tekniikassa rakennetaan ympäristöstä kartta samalla kun lasketaan robotin sijaintia reaaliaikaisesti (Wang ym., 2011, s. 1). SLAM tarjoaa mobiilirobotille kyvyn paikantaa itsensä ja ympäristönsä piirteet ilman ennalta tehtyä karttaa, mikä on hyödyllistä monissa navigointitehtävissä. SLAM-tekniikka toimii pääpiirteittäin seuraavasti: Mobiilirobotti kulkee ympäristössään ja skannaa samalla ympäristöstä kartan ja tekee maamerkkejä karttaan. Ajaessaan uudelleen samalla alueella mobiilirobotti vertailee mitaamaansa pistepilveä karttaan ja laskee sijaintinsa (AGV Network, 2011, luku 5.3.2) Usein SLAM-tekniikassa kartoitukseen käytetään LIDAR- tai konenäkötekniikkaa. LIDAR-tekniikassa vaunu mittaa matkaa kohteeseen valottamalla laservalolla kohdetta, josta valon heijastuman perusteella luodaan 2D- tai 3D-pistepilvi (AGV Network, 2011, luku 5.3.3). SLAM-

tekniikan etuna on käyttöönoton helppous. PC-sovelluksessa kerrotaan reitin alku- ja loppupisteet. Robotti laskee reitin pisteiden välille käyttäen ennalta tehtyä karttaa. Kohdatessaan esteen robotti osaa laskea uuden reitin esteen ohi. (AGV Network, 2011, luku 5.3.5). Huonona puolena on paikannuksen epätarkkuus joissakin tilanteissa sekä hyvälaatuisen laserkeilaimen kallis hinta (AGV Network, 2011, luku 5.3.6).

Magneettisuuteen perustuvia navigointitekniikoita ovat magneettinauhanavigointi ja magneettipistenavigointi. Magneettinauhanavigoinnissa trukki seuraa magneettisen anturinsa avulla lattiaan kiinnitettyä magneettinauhaa (AGV Network, 2011, luku 5.2). Magneettinauhanavigoinnin hyviä puolia on asennuksen helppous ja erittäin tarkka ja luotettava paikoitus, jopa  $\pm 2$  mm, mutta taas huonoja puolia on magneettinauhan arkuus kulumiselle vilkkaasti liikennöidyillä alueilla, ja nauha on myös suhteellisen kallista (AGV Network, 2011, luku 5.2).

Magneettipistenavigoinnissa lattiaan asennetaan magneettisia kiekkoja 250–500 mm välein. Nämä kiekot määrittävät virtuaalisen polun mobiilirobotille (AGV Network, 2011, luku 5.2). AGV ajaa magneettipisteeltä seuraavalle käyttäen monen tyyppisiä antureita kalibroidakseen paikkansa ja asentonsa. Samalla AGV seuraa hallintasovellukseen ladattua pohjapiirustuksen mukaista magneetikarttaa. Magneettipistenavigoinnin etuja ovat magneettipisteiden pieni koko ja hyvä tarkkuus (2,5 mm). Kunnossapitoa ei myöskään tarvita. Huonona puolena on magneettinauhan arkuus kulumiselle vilkkaasti liikennöidyillä alueilla sekä magneettinauhan kallis hinta.

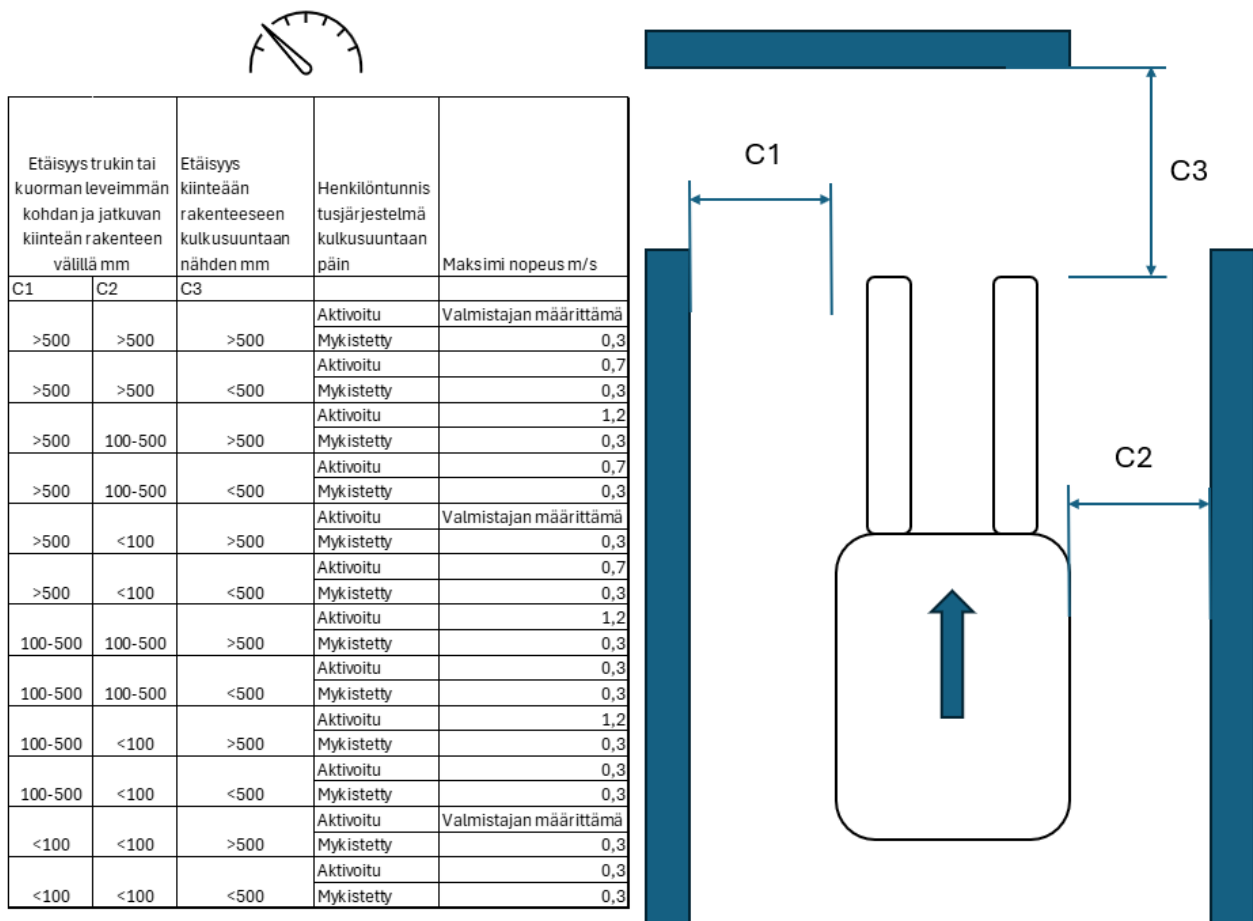
### **2.3 Mobiilirobottien turvallisuus**

Mobiilirobottien turvallisuus on parantunut uusien anturiteknologioiden myötä, ja sen seurauksena robotit voivat liikkua nopeammin ja turvallisemmin erilaisissa tilanteissa. Turvallisuusstandardit eivät pysy kuitenkaan aina nopean kehityksen perässä. ISO 3691-4:2023-standardi on tällä hetkellä kattavin ja uusin ilman kuljettajaa toimivien trukkien turvallisuusstandardi, jota useat valmistajat noudattavat. Standardissa määritellään tarkasti, mitä vaatimuksia trukeille asetetaan, jotta ne olisivat turvallisia käyttää ympäristöissä, joissa liikkuu myös ihmisiä ja muita laitteita.

Trukin tulee olla varustettu jarrutusjärjestelmällä, joka aktivoituu seuraavissa tilanteissa: virransyöttöhäiriö, nopeuden tai ohjauksen hallinnan menetys, kun ihmisenhavaitsemisjärjestelmä havaitsee ihmisen operointietäisyydellä ajoreitillä (Suomen Standardisoimisliitto (SFS),

2023, luku 4.2). Sen tulee pitää trucki suurimman sallitun kuorman kanssa paikallaan valmistajan määrittämän lattian maksimikaltevuuden olosuhteissa.

Trukin nopeutta on monitoroitava jatkuvasti ja pysäytys on aktivoitava automaattisesti, jos maksiminopeus ylitetään (SFS, 2023, luku 4.3). Nopeus on lisäksi rajoitettava nopeudenrajoitusjärjestelmällä trukin käyttöympäristön mukaan, että standardin turva-alueiden määräämää maksiminopeutta ei ylitetä. Kuviossa 3 on havainnollistettu kiinteiden esteiden etäisyyksien vaikutusta sallittuun maksiminopeuteen. Kuvasta voidaan nähdä, että henkilöntunnistusjärjestelmän käyttö vaikuttaa merkittävästi sallittuun maksiminopeuteen.

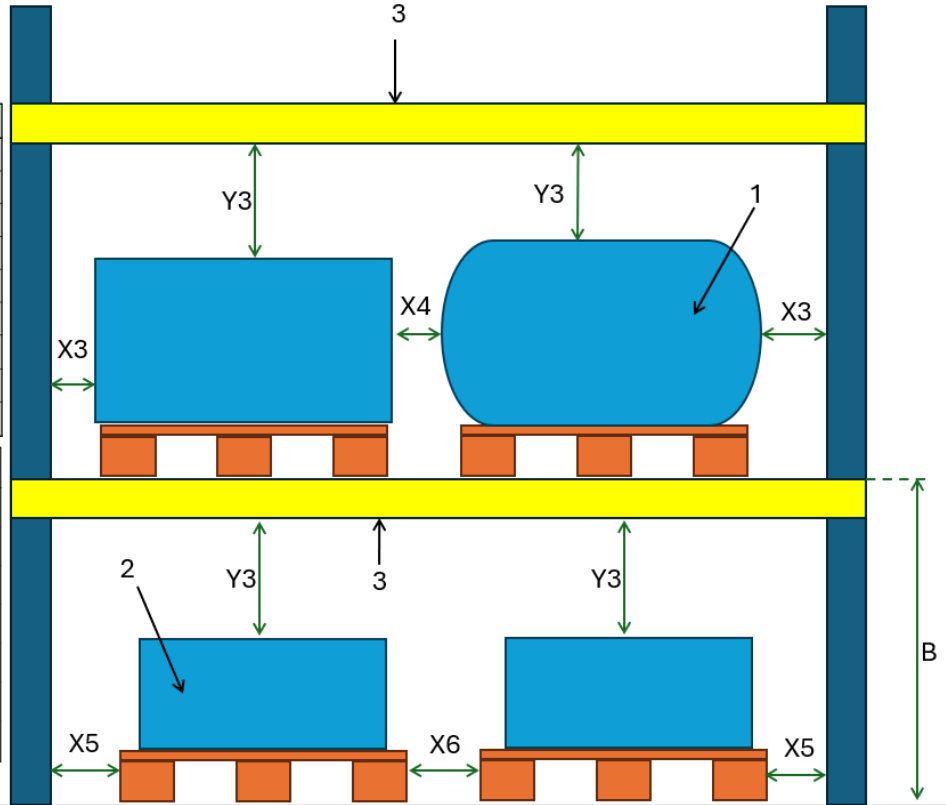


Kuvio 3. Trukin maksiminopeus eri tilanteissa (perustuu SFS, 2023, taulukko A1).

Kuorman lastaaminen trukilla kuormalavahyllyyn asettaa hyllystölle toleranssivaatimuksia, jotka tulee täyttää, jotta lastaaminen on turvallista ja että kuormalavahyllystää ei vaurioiteta lastauksen aikana (SFS, 2021, luku 1). Standardi ei koske automaattitrukkeja, mutta siitä huolimatta useat trukkipuolvalmistajat noudattavat kyseistä standardia kuormalavojen vapaavälyksien määrittämisessä. Vapaavälyksellä tarkoitetaan kuormalavojen ja hyllystörakenteiden välistä vapaata tilaa. Kuviossa 4 on esitetty standardin mukaiset vapaavälykset.

Vähimmäis vapaaväli vaatimukset
1 = Lavan ylittävä kuorma
2 = Lavan sisällä oleva kuorma
3 = Puomi ilman taipumaa
X3 = Kuorman ja hyllystön vapaaväli sivusuunnassa
X4 = Kuormien vapaaväli
X5 = Lavan ja hyllystön vapaaväli sivusuunnassa
X6 = Lavojen vapaaväli
Y3 = Puomin alapinnan ja kuorman vapaaväli
B = Puomin korkeus lattiasta

Leveä ja kapekäytävä hyllytys (yksiköt milleinä)		
B	X3, X4, X5, X6	Y3
<3000	75	75
<6000	75	100
<9000	75	125
<12000	100	150
<15000	100	175
<15000	Ei mahdollista	Ei mahdollista



Kuvio 4. Kuormalavahyllystön vapaaväli vaatimukset (Perustuu SFS, 2021, taulukko 4).

## 3 KEHITYSTYÖ

### 3.1 Nykytilan tutkimus

Nykytilan tutkimuksessa selvitettiin, millaiset sisälogistiikan tehtävät voitaisiin automatisoida mobiilirobotteja käyttäen kohdeyrityksessä. Tuotannon logistiikan nykyistä tilannetta selvitettiin havainnoimalla tuotannon materiaalivirtoja. Lisäksi keskusteltiin tuotannosta vastaavien henkilöiden kanssa. Tutkimuksessa löydettiin muutamia mobiiliroboteille soveltuvia materiaalin-siirtotehtäviä.

Mobiiliroboteille tulee määrittää ulkomitoiltaan suurin mahdollinen kuorma, jota sillä kuljetaan. Kuorma tulee määrittää siten, että turvallisuusmääräykset täytetään ja trukilla pystytään toimimaan turvallisesti tuotantotiloissa, jossa työskentelee myös ihmisiä (Toyota material handling, henkilökohtainen tiedonanto, 23.1.2025). Kuljetettavan kappaleen koko vaikuttaa myös trukin turvanopeuksiin, kuten luvussa 2.3 mobiilirobottien turvallisuus on kerrottu, joten isoimmat kappaleet rajattiin pois tutkimuksesta. On myös pidettävä mielessä, että standardi-koosta tai -rakenteesta poikkeavat pakkaukset vaativat mobiilirobotilta hyväksynnän. Tämä johtuu siitä, että haarukoilla varustetun mobiilirobotin on tunnistettava pakkauksen nostokohdat, jotta kuorman siirto tai nosto voidaan tehdä turvallisesti.

Sopiviksi käyttökohteiksi mobiiliroboteille valikoituivat lokasuojatelineiden siirrot ohutlevyvalmistuksesta maalaamoon, maalattujen osien siirto varastopaikoille ja tyhjien telineiden siirto ohutlevyvalmistukseen. Muita potentiaalisia siirtoja ovat väriosien siirrot vastaanotosta varastopaikoille, valmiiden ohjaamoiden siirto lähetysalueelle, osakokoonpanojen siirto kokoonpanolinjan viereen, tyhjien lavojen siirto tuotannosta tyhjien lavojen varastointipaikalle sekä vastaanottoalueella tapahtuvat lavojen siirrot. Valinnat tehtiin materiaalin siirtomäärien, reittien esteettömyyden ja pakkauksien koon perusteella. Kuljetettavien materiaalien suurimmaksi mitaksi saatiin 1550x1200x1800 mm.

Lokasuojatelineiden siirtojen määrä päivässä riippuu tuotantotilauksien sisällöstä. Kaikkiin kokoonpanolinjalla tehtäviin ohjaamoihin ei asenneta kyseisiä lokasuojia, vaan noin neljänneksen koko määrästä. Lokasuojatelineeseen mahtuu kymmenen lokasuojaa, joita menee ohjaamo kohti yksi kappale kumpaakin puolta. Kummankin puolen lokasuojat ovat omissa telineissään. Eri malleissa on erilaiset lokasuojat, joille jokaiselle on omat telineet.



Lokasuojateline on tehty vain lokasuojien kuljetusta varten, joten sen ulkomitat eivät ole standardikokoisen kuormalavan mukaiset. Lokasuojatelineet siirretään ohutlevyvalmistuksesta maalaamoon ja maalaamosta varastopaikalle. Lisäksi tyhjät lokasuojatelineet täytyy siirtää ohutlevyvalmistukseen takaisin. Tutkimuksen aikana lokasuojia asennettiin yhdeksään ohjaamoon päivässä. Koska molempien puolien lokasuojat ovat omissa telineissään, täytyy siirtoja tehdä kaksi kertaa päivässä.

Väriosien siirtojen määrä tutkimuksen aikana pysyi melko tasaisena tuotantojonosta riippumatta. Väriosia siirretään niille tarkoitetuissa telineissä vastaanotosta käyttöpaikoille. Tyhjät telineet siirretään takaisin vastaanottoon. Väriosia siirretään kahdessa erilaisessa telineessä kuusi kertaa päivässä. Käytössä on myös suurempi telinetyyppi, mutta sitä ei siirretä mobiilirobotilla.

Vastaanottoalueelle siirretään kuorma-autosta puretut kuormalavat niin, että ensin kuorma-autosta ulkotrukki nostaa lavat tuulikaappiin ja siitä sisätrukit siirtävät lavat vastaanottoalueelle. Lavamäärä vaihtelee todella paljon päivän mukaan. Tähän työhön on käytetty arviota keskimääräisestä lavamäärästä kahdeksan tunnin työvuoron aikana. Se on 120 kuormalavaa. Kuormalavat ovat yleensä pakattu neljän lavan nippuihin, joten siirtoja päivän aikana tulee 30–40 kappaletta.

Osakokoonpanosta siirretään takahallintalaitteita keskimäärin kaksi kappaletta päivässä. Siirrot tehdään osakokoonpanoalueelta linjakokoonpanon viereen.

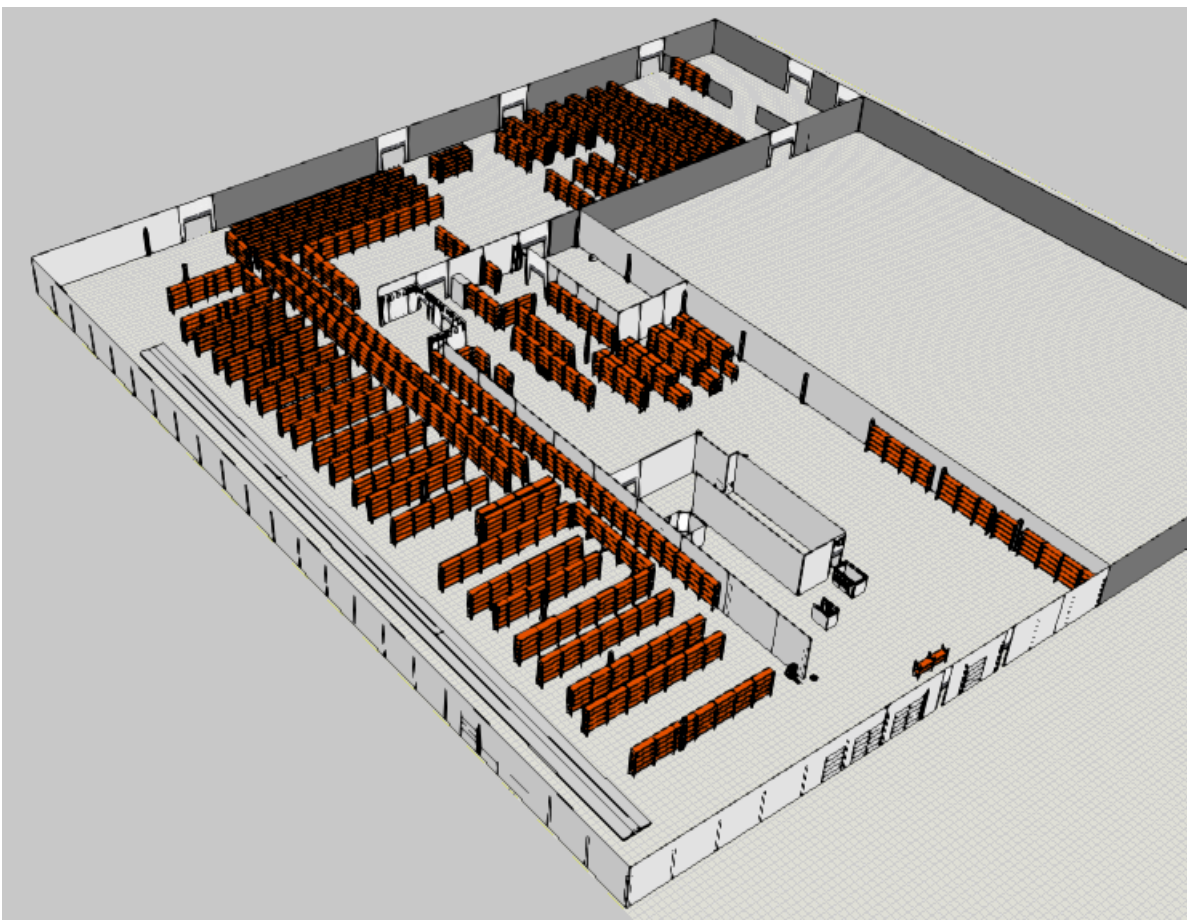
Tyhjiä kuormalavoja siirretään käyttöpaikoilta tyhjien lavojen pinoamistelineeseen, josta lavat siirretään vastaanottoalueen lavanippuihin, kun lavoja on kertynyt 16 kpl telineeseen. Tyhjien lavojen teline tyhjenetään noin kolme kertaa päivässä.

### **3.2 Konseptien simulointi**

Nykytilanteen tutkimuksen pohjalta saatiin riittävät lähtötiedot, jotta mobiilirobottien reittejä ja tehtäviä voitiin simuloida. Simuloinnilla tarkoitetaan tässä työssä mobiilirobottien reittien ja tehtävien määrittämistä virtuaalisessa tuotantoympäristössä. Simuloinnin avulla voidaan myös kokeilla erilaisia reittejä ja analysoida robotin tehokkuutta. Simulointiohjelmistona käytettiin Visual Components -sovellusta, koska se oli kohdeyrityksessä käytössä ja se soveltuu erinomaisesti tähän tehtävään.

### 3.2.1 Tehdaslayout

Tehdasympäristön layoutin mallinnus aloitettiin ensin kaksiulotteisen pohjapiirroksen perusteella tekemällä se kolmiulotteiseen muotoon. Tämä on aikaa vievin vaihe, koska tehdasympäristön koko on melko laaja. Ympäristössä on iso määrä rakenteita, jotka on syytä olla simuloinnissa mukana, jotta simuloinnista saatava tulos on mahdollisimman tarkka. Visual Componentsissa on valmis tuotekatalogi, josta löytyy tehdaslayoutin mallintamiseen hyvin komponentteja, kuten seinät, pilarit, mobiilirobotit ja paljon muuta. Kuvassa 8 on esitetty Visual Componentsilla mallinnettu tehdaslayout.

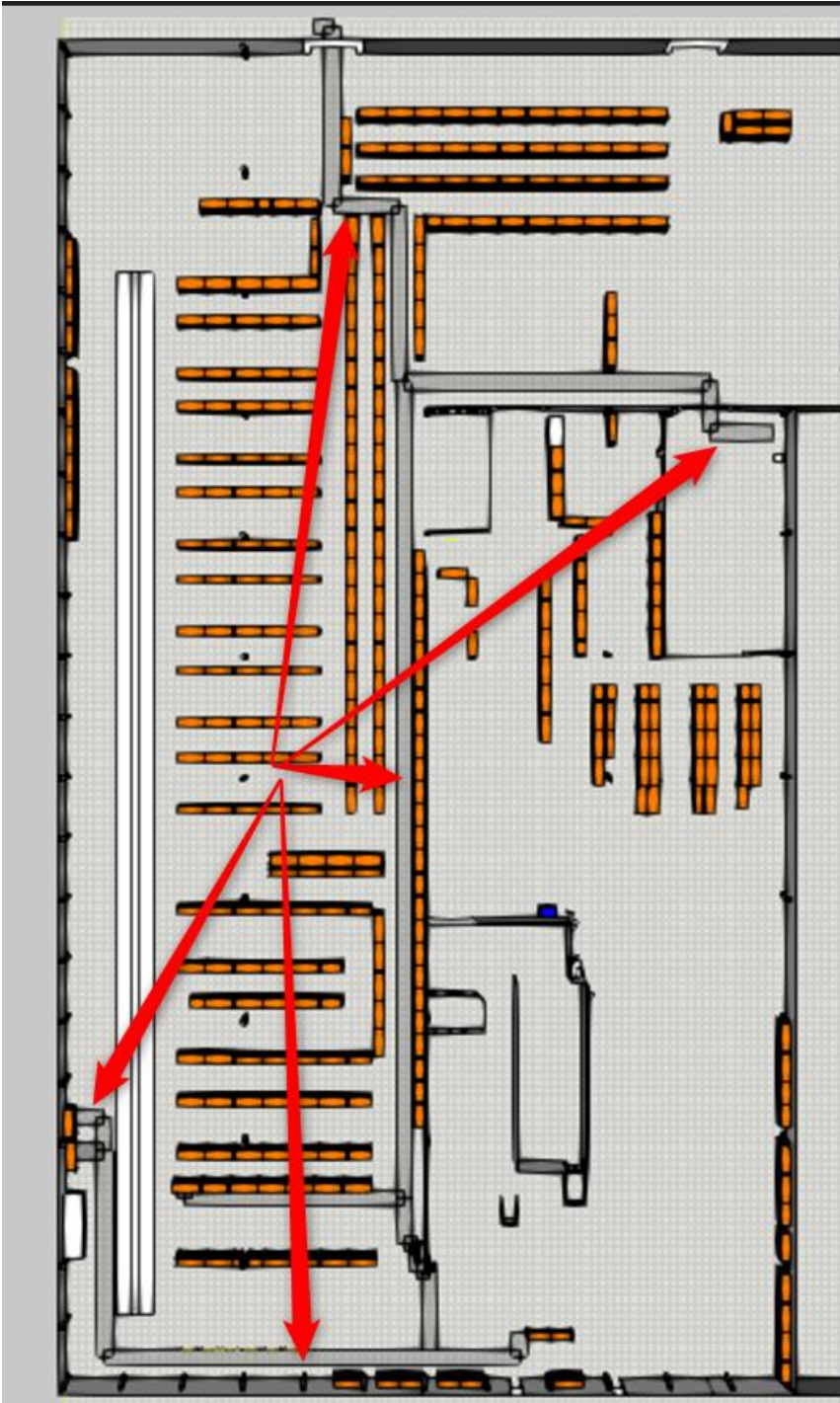


Kuva 8. Visual Components tehdaslayout.

### 3.2.2 Reittien määrittäminen

Toisessa vaiheessa mobiilirobotille määritetään reitti, jota pitkin se noutaa tuotteet ja kuljettaa määränpäähen. Simulointiympäristössä tämä tapahtuu käyttämällä Pathway-komponenttia, jolle voidaan määrittää muun maassa leveys, pituus, kaarevuus ja onko reitti yksisuuntainen vai monisuuntainen. Reitit tulee määrittää niin, että mobiilirobotit pystyvät toimimaan samaan

aikaan vastaantulevan trukki liikenteen kanssa. Kuvassa 9 on mobiilirobottien reitin määrittäminen, jossa punaisilla nuolilla korostettu mobiilirobotin reitit.

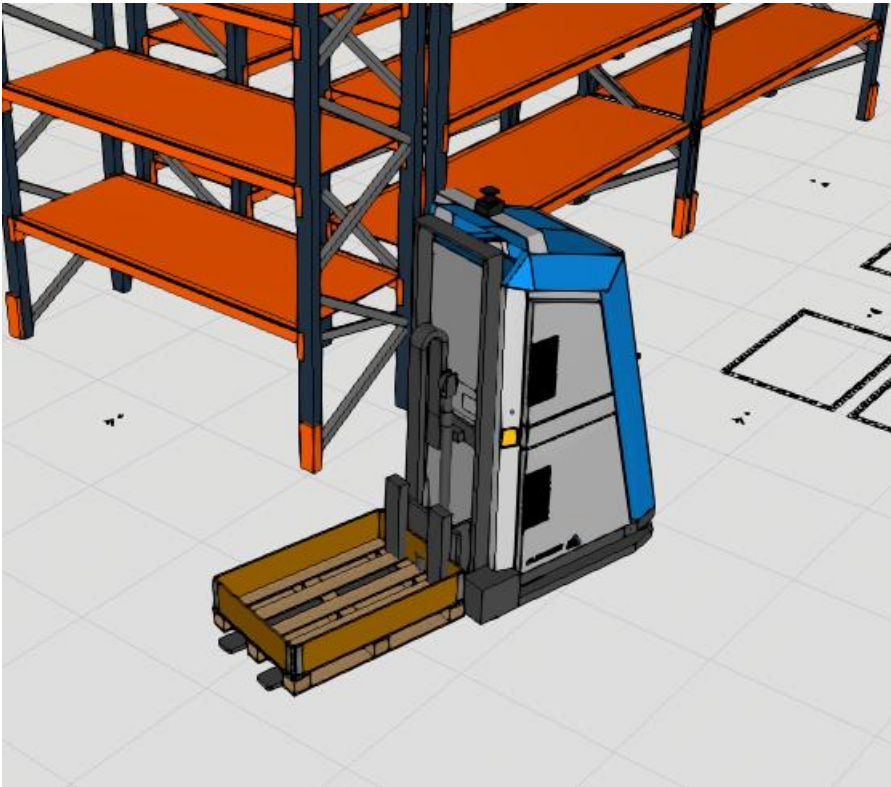


Kuva 9. Mobiilirobotin reittien luonti.

### 3.2.3 Prosessin määrittäminen

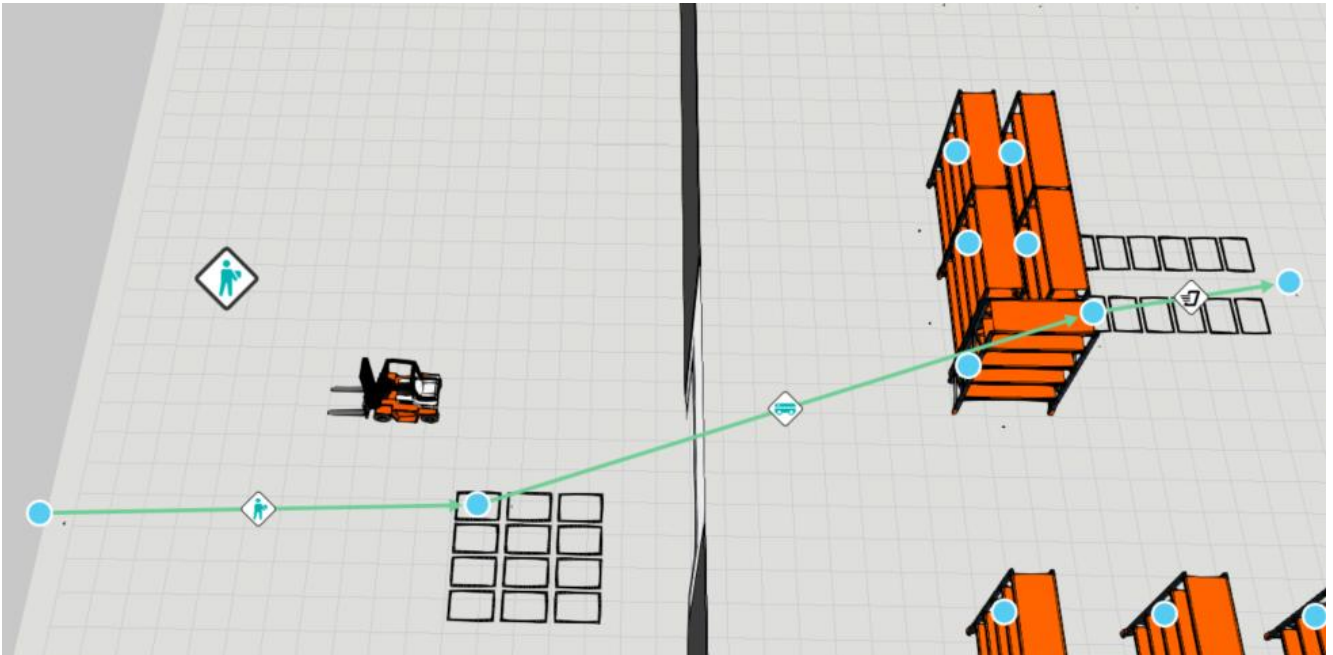
Kolmannessa vaiheessa mallinnetaan kuljetettavat kappaleet, valitaan käytettävä mobiilirobotti katalogista ja luodaan prosessit, jonka mukaisesti materiaali kuljetetaan. Mobiilirobotille

voidaan antaa erikseen maksimi liikkumisnopeus kuorman kanssa ja ilman kuormaa. Tässä työssä käytetään AGV-trukille tyypillisesti keskimääräistä liikkumisnopeutta 1,5 m/s, joka perustuu Toyota Material Handling aineistoon. Kuvassa 10 on eurolavaa kuljettava AGV.



Kuva 10. AGV kuljettaa eurolavaa.

Prosessille määritetään intervalliaika, joka kertoo, kuinka usein tuote siirretään. Lisäksi määritetään, minne tuote halutaan siirtää, tehtävän prioriteetti, millä se halutaan siirtää ja mahdollinen seuraava siirtopaikka. Siirrettävä kappale luodaan määritetyn intervallin välein, ja sen aika mukailee oikean tuotannon tahtia. Visual Componentsissa prosessin rakentamiseen käytetään Flow-komponenttia, josta kuva 11 on esimerkkinä. Lattialle luodaan myös tarpeen mukaan puskuripaikat, joihin voidaan kuljettaa useampi tuote. Mobiilirobotille on myös syytä määrittää useampi odotuspaikka, jonne se siirtyy silloin, kun sillä ei ole aktiivista tehtävää, jotta mobiilirobotti ei olisi muun logistisen liikenteen tiellä. Mobiilirobotille määritetään myös lataussijainti. Mobiilirobotille voidaan määrittää akun kapasiteetti simuloinnin alussa ja virran kulutus tehtävän aikana ja odotustilassa.

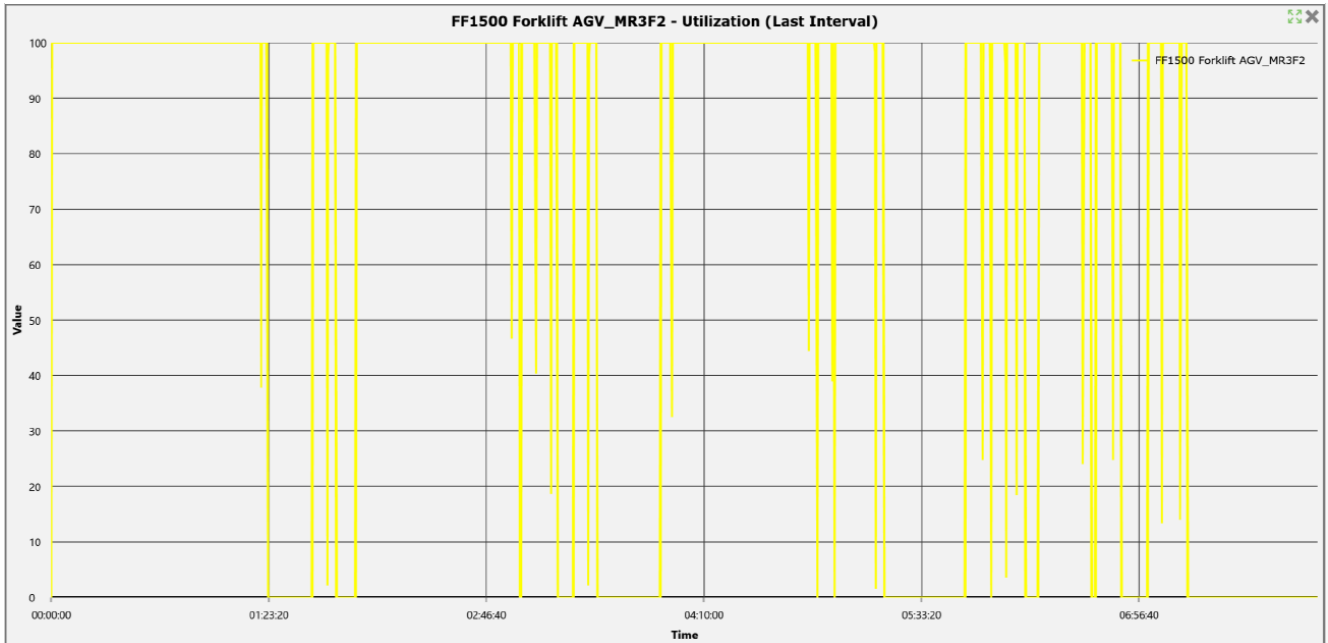


Kuva 11. Flow-komponentti.

Kun kaikki edellä mainitut simuloinnin vaiheet on tehty, voidaan simulointi käynnistää ja tarkastella liikkeitä. Kun simuloinnin kulkuun ollaan tyytyväisiä, voidaan siirtyä analysointivaiheeseen. Visual Componentsissa on mahdollista tutkia erittäin laajasti statiikkaa eri komponenteista.

### 3.2.4 Simuloinnin tulokset

Tässä työssä oleellisinta on tutkia mobiilirobotin käyttöastetta. Työssä tutkittiin 8 tunnin työvuoron ajalta mobiilirobotin käyttöastetta. Simuloinnista saadaan tulostettua Excel-muodossa käyttöastetaulukko halutulla intervallilla. Tässä työssä käytettiin 10 sekunnin intervallia. Kuvassa 12 näkyy mobiilirobotin käyttöasteen statiikka 8 tunnin ajalta. Käyttöaste vaihtelee päivän aikana runsaasti, koska tuotteita tuodaan isoissa erissä käyttöpaikoille, jolloin mobiilirobotti joutuu välillä odottamaan seuraavaa työtä. Excel-tilukosta 8 tunnin ajalta keskiarvon laskemalla saatiin käyttöasteen keskiarvoksi 68 %, joka on varsin tyydyttävä tulos. Tuloksesta voidaan päätellä, että yksi mobiilirobotti ehtii hoitaa tutkimuksessa mukana olleet siirrot vaivattomasti ja siirtoihin jää pelivaraa, esimerkiksi häiriöitä ja muita viivästyksiä silmällä pitäen. Simuloinnin perusteella voidaan myös todeta, että AGV-pinoamistrukki soveltuu hyvin kohdeyrityksen tuotannossa oleviin tehtäviin. Jatkossa tehtyä simulointia on helppo käyttää pohjana, kun halutaan selvittää muita mobiilirobotille ajateltuja tehtäviä.



Kuva 12. Mobiilirobotin käyttöaste.

### 3.3 Mobiilirobotin liittäminen tuotannonohjausjärjestelmään

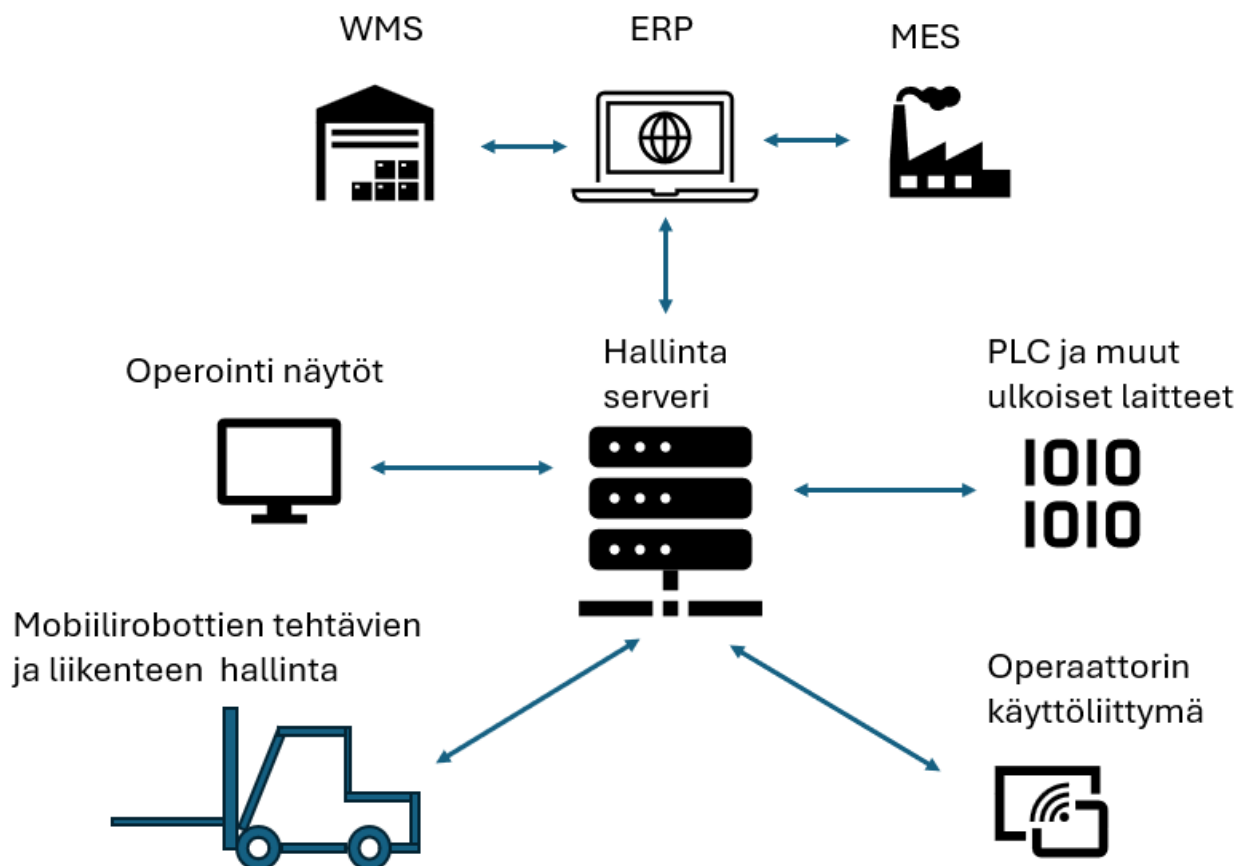
Kullakin mobiilirobotin toimittajalla on oma tapansa mobiilirobotin ohjauksen liittämiseksi tuotannonohjausjärjestelmään. Kuviossa 5 on esitetty eräs tapa, jossa yrityksen toiminnanohjausjärjestelmä (ERP) kommunikoi robotin hallintajärjestelmän kanssa (AGV network, 2024, luku 1).

Kuvion 5 ylimmäisellä rivillä on esitetty varastohallinnan (WMS), resurssien suunnittelun (ERP) ja tuotannonsuoritusjärjestelmän (MES) välinen liityntä. Edellä mainitut kolme erillistä järjestelmää on usein yhdistetty samaan järjestelmään, josta usein puhutaan kuitenkin ERP-järjestelmänä, kuten kohdeyrityksen tapauksessa. Mobiilirobotin työtehtävät siirretään mobiiliroboteille tehtävienhallintajärjestelmän välityksellä. AGV-järjestelmät käyttävät yleensä langatonta verkkoa mobiilirobottien, kalustonhallinnan ja muiden järjestelmien väliseen tiedonsiirtoon (AGV Network, 2011, luku 2.2). Hallintaserveri toimii kaiken tietoliikenteen välittäjänä järjestelmien välillä.

Usein käytetään myös ohjelmoitavia logiikoita (PLC), jotta saadaan I/O-tiedon perusteella annettua mobiiliroboteille tehtäväkäskeyä. Mobiilirobotille tulee tehtävä, kun esimerkiksi jokin anturi aktivoituu kuormalavan siirtyessä anturin lukualueelle.

Operaattorin käyttöliittymältä voidaan pyytää suoraan mobiilirobotille työtehtäviä, pyytää vaikkapa huoltokutsu tai keskeyttää nykyinen tehtävä. Sen kautta pystytään matalalla kynnyksellä ottamaan käyttöön mobiilirobotti, ilman että tarvitsee rakentaa monimutkaista järjestelmien välisiä yhteyksiä.

Mobiilirobottien tehtävien ja liikenteen hallintaa kutsutaan usein fleet managementiksi. Fleet managementin kautta kaikki mobiilirobotin käskyt liikkuvat langattomasti WiFi-yhteydellä mobiilirobotille ja mobiilirobotilta taikaisin hallintaserverille. Langattoman verkon tulee olla kattava ja vakaa, koska mobiilirobotit eivät saa tehtäviään, jos kommunikointi ei toimi, ja silloin kaikki pysähtyy (AGV Network, 2011, luku 2.2). Operointinäyttöiltä ja operaattorin käyttöliittymiltä voidaan reaaliaikaisesti seurata mobiilirobottien tehtäviä ja niiden sijaintia.



Kuvio 5. Laitteiston hallinta (perustuu AGV network, 2024, luku 1).

### 3.4 Kustannusrakenne

Hankinnan kustannuksissa täytyy huomioida robotin lisäksi myös liitos tuotannonohjausjärjestelmään sekä robotin vaatimat valmistelevat toimenpiteet tuotannossa. Hyvin karkealla

tasolla voidaan mainita, että AGV-tyyppisen mobiilirobotin tapauksessa itse mobiilirobotin hinta kokonaistoimituksesta on noin 60–80 % riippuen esimerkiksi siitä, mitä oheislaitteita tarvitaan, miten laaja tuotannonohjausjärjestelmän liitos on kyseessä ja miten isosta tuotantotilasta on kyse.

Mobiilirobottien kokonaistoimituksen mukana tarjotaan yleensä toimittajakohtainen fleet management-sovellus, jonka osuus kokonaistoimituksen hinnasta voi olla 5–25 % riippuen sisällyksen laajuudesta (Waku Robotics, 2024, s.15). Osa mobiilirobottien toimittajista tarjoaa myös leasing-vaihtoehtoa hankintaan, jolloin aloituskustannukset käyttöönottovaiheessa eivät ole niin suuret, kuin omaksi ostettaessa.



## 4 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää, millaisia mobiilirobotteja markkinoilla on tarjolla ja millaisiin tehtäviin ne soveltuvat. Työssä selvitettiin myös mobiilirobotiikassa huomioon otettavia turvallisuusvaatimuksia. Työssä selvitettiin myös tuotannon nykytila ja kartoitettiin mobiiliroboteille sopivat tehtävät. Lisäksi tehtiin nykytilantutkimuksesta saatujen lähtötietojen perusteella tuotannonsimulointimalli, jolla selvitettiin soveltuvatko mobiilirobotit nykyiseen tuotantoon ja kuinka suuri käyttöaste mobiilirobotilla voisi olla yhden 8 tunnin työvuoron aikana.

Työn teoriaosuudessa tutustuttiin alan kirjallisuuslähteisiin ja mobiilirobotiikkaan liittyviin standardeihin. Kirjallisuudesta ja mobiilirobottitoimittajalta saaduista materiaaleista selvisi, minkä tyyppisiä mobiilirobotteja on markkinoilla ja minkä tyyppisiin tehtäviin ne soveltuvat. Työssä selvitettiin myös mobiilirobottien turvallisuusvaatimuksia, kuten mobiilirobotin maksiminopeudet erilaisilla etäisyyksillä erityyppisiin esteisiin. Tärkeää tietoa saatiin myös kuormalavahyllyille asetetusta standardista, jossa on määritetty muun maassa kuormalavojen vapaaväliä, jotta kuormalavojen kuormaus voidaan tehdä turvallisesti kuormalavahyllyyn.

Kehitysosuudessa selvitettiin kohdeyrityksen sisälogistiikasta mobiiliroboteille soveltuvia kohteita. Tutkimuksessa löydettiin useita erilaisia materiaalsiirtoja, joita voidaan mahdollisesti tehdä mobiilirobotilla. Samalla selvitettiin työvuoron aikana tehtävien materiaalsiirtojen määrä ja niiden reitit.

Visual Component -työkalulla tehdyn simuloinnin avulla selvitettiin, soveltuvatko siirrot mobiilirobotille ja mikä olisi mobiilirobotin käyttöaste yhden työvuoron aikana. Simuloinnin tuloksena saatiin tieto, että pinoamistrukki tyyppinen AGV-trukki soveltuu yrityksen tuotantoon hyvin, ja sen käyttöaste olisi 68 %.

Työssä selvitettiin myös, miten mobiilirobotti ja sen hallintajärjestelmä kommunikoivat yrityksen tuotannonohjausjärjestelmän kanssa. Tutkimuksessa selvisi, että jokaisella mobiilirobottitoimittajalla on omat liityntätapansa, jolloin yhtä yleistä selkeää kuvaa järjestelmien kommunikoinnista on hankala saada.

Viimeisessä luvussa avattiin karkeasti, millainen kustannusrakenne mobiilirobotin kokonaisuudella on. Selvisi että kustannusrakenteeseen vaikuttaa erittäin paljon toimituksen

sisällön laajuus, joten tarkkaa kuvaa kustannusrakenteesta on mahdoton saada yleisellä tasolla.

Tästä työstä saatiin kohdeyritykselle hyvä yleisselvitys mobiilirobotiikasta ja sen rajoitteista. Yritys sai myös tiedon siitä, että mobiilirobotteja voidaan hyödyntää nykyisessä tuotannossa tietyissä tehtävissä ja sen käyttöaste tulisi olemaan hyvällä tasolla yhdessä työvuorossa. Työssä tehtyä simulointimallia voidaan käyttää jatkossa myös materiaalsiirtojen tarkasteluun, jotta voidaan tutkia muitakin mobiilirobotille mahdollisesti soveltuvia kohteita.

## LÄHTEET

- AGV Network. (2024) *What the heck is an automated guided vehicle?* Haettu 6.1.2025. <https://www.agvnetwork.com>. KMC Srls.
- Mobile Industrial Robots. (2023). *AMR vs AGV - Key Differences Explained*. <https://www.mobile-industrial-robots.com/insights/get-started-with-amrs/agv-vs-amr-whats-the-difference/>.
- Hokkanen, S., & Virtanen, S. (2018). *Varastonhoitajan käsikirja: Oikein suunniteltu, toiminnallisesti hyvin toteutettu, hyvällä prosessien hallinnalla sekä pätevällä ja motivoituneella henkilöstöllä miehitetty varasto tuottaa logistiseen ketjuun merkittävää lisäarvoa* (4. p.). Sho Business Development.
- International Organization for Standardization (ISO). (2021). *Robotics: Vocabulary* (ISO Standard No. 8373:2021 (3. p.)). <https://www.iso.org/standard/75539.html>
- Kagan, E., Shvalb, N., Ben-Gal, I. (2020). *Autonomous mobile robots and multi-robot systems: Motion-planning, communication and swarming* (s. 1–20). Wiley.
- Logistiikan maailma. (31.1.2025) *Sisälogistiikka*. <https://www.logistiikanmaailma.fi/logistiikka/logistiikka-ja-toimitusketju/sisallogistiikka/>
- Suomen Standardisoimisliitto (SFS). (2021). *Steel static storage systems. Tolerances, deformations and clearances* (SFS-EN 15620:2021:en).
- Suomen Standardisoimisliitto (SFS). (2023). *Industrial trucks. Safety requirements and verification. Part 4: Driverless industrial trucks and their systems* (SFS-EN ISO 3691-4:2023:en).
- Toyota material handling. (2023). *Trend report 2023*. Haettu 10.3.2025, <https://toyota-forklifts.fi/tietoa-toyotasta/innovation/logistiikan-trendit-raportti/>
- Toyota material handling. (2024). *Trends in logistics 2024*. Haettu 10.3.2025, <https://toyota-forklifts.fi/tietoa-toyotasta/innovation/logistiikan-trendit-raportti/>
- MSK Group. (2025). *Yritysesittely*. Haettu 13.2.2025. MSK Group intranet.
- Välimäki, K., Niemelä, M., Liuha, A., Latokartano, J., Lempiäinen, J., Billing, M., (2023). *Teollisuuden robotiikka*. Suomen Robotiikkayhdistys ry.
- Waku Robotics. (2024). *Market Insights Report* (version 2.1(en)). Haettu 12.2.2025, <https://www.lotsofbots.com/en/robotics-market-insights-whitepaper/>

Wang, Z., Huang, S., Dissanayake, G., & Huang, S. (2011). *Simultaneous localization and mapping: Exactly sparse information filters*. World Scientific.