



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU  
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Riku Kauppinen ja Janne Yli-Arvo

**AUTOMAATTISEN PINOAMISVAUNUN  
SOVELTUVUUS VALMISTAVAN  
TUOTANNON TARPEISIIN**

Tekniikka  
2023

## TIIVISTELMÄ

Tekijät	Riku Kauppinen ja Janne Yli-Arvo
Opinnäytetyön nimi	Automaattisen pinoamisvaunun soveltuvuus valmistavan tuotannon tarpeisiin
Vuosi	2023
Kieli	suomi
Sivumäärä	93 + 2 liitettä
Ohjaaja	Mika Billing

---

Tämä työ tehtiin Danfoss Vaasan taajuusmuuttajatehtaan tuotantoon. Työn tarkoitus oli kokeilla käytännön menetelmin automaattisen pinoamisvaunun (vihivaunu, AGV) soveltuvuutta tehtaan tarpeisiin. Suunniteltuja käyttökohteita laitteistolle olivat valmiiden laitteiden siirrot, puolivalmiiden laitteiden siirrot sekä kierrätyskärryjen siirrot.

Työssä tehdään katsaus erityyppisiin vihivaunuihin ja tutustutaan myös laitteiden navigointitekniikoihin, akkutyyppeihin ja niiden lataukseen, sekä vihivaunujen hallintaan. Työssä käydään läpi myös vihivaunujen turvallisuusnäkökulma, eli laiteturvallisuus, työturvallisuus ja laitestandardit.

Laitetestiin valikoitui kahden eri toimittajan laitteistot. Käytännön laitetestien perusteella saatiin hyvä kuva AGV-laitteista todellisessa toimintaympäristössä. Laitteita vertailtiin ennalta valittujen ominaisuuksien perusteella. Lopuksi työn havaintojen perusteella luotiin muutama käytännön neuvo, joista on myös apua muille vihivaunuista kiinnostuneille.

## ABSTRACT

Author	Riku Kauppinen and Janne Yli-Arvo
Title	AGV system suitability to production logistics
Year	2023
Language	Finnish
Pages	93 + 2 appendices
Name of Supervisor	Mika Billing

---

This thesis was done for Danfoss Drives Vaasa factory. The purposes of the thesis were to test the suitability of automated guided forklifts in production. Planned use for the system was the transport of finished and half-finished products and recycling carts.

There will be overview of different kind of AGVs and familiarization of navigation methods, battery types and charging, and overall control of the robots. The safety aspect is also reviewed which includes equipment safety, work safety and equipment standards.

Two AGVs passed the initial requirements and were chosen to for trial run. The practical tests provided relatively good feedback about the AGVs in a real working environment. The AGVs were compared against pre-defined features. After the trials a few hands-on tips were composed for others interested in AGVs in their respective workplaces.

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO.....	12
1.1	Danfoss.....	13
1.2	Danfoss Vaasa .....	14
1.3	Taajuusmuuttaja .....	14
2	VAASAN TUOTANTO JA SEN TARPEET .....	15
2.1	Jatkuva kehitys .....	16
2.1	Pinoamisvaunut .....	17
2.2	Kuormalavat.....	18
2.3	Valmiiden tuotteiden siirto.....	18
2.4	Puolivalmiiden moduulien puskurit.....	20
2.5	Kierrätyskärryt .....	21
3	TEOLLISUUSKÄYTTÖISET VIHIVAUNUT, ELI AGV:T .....	23
3.1	Turvallisuus .....	23
3.1.1	Työturvallisuus .....	24
3.1.2	Riskiarviointi .....	24
3.1.3	Kone- ja muut direktiivit .....	25
3.1.4	Turvallisuusstandardit.....	26
3.2	Vihivaunutyyppit .....	26
3.2.1	Automaattinen kuljetusalusta.....	26
3.2.2	Automaattinen kuorman veto .....	27
3.2.3	Automaattitrukit .....	28
3.3	Käyttövoima .....	29
3.3.1	Akkutyypit .....	29
3.3.2	Akkujen lataus .....	30
3.4	Vihivaunujen hallinta .....	31

3.5	Navigointitavat.....	33
3.5.1	Kaapeli.....	33
3.5.2	Magneetti.....	35
3.5.3	QR-viivakoodi .....	39
3.5.4	Inertiaalinen .....	39
3.5.5	Optinen.....	41
3.5.6	Visuaalinen (3D-näkö) .....	42
3.5.7	Laser .....	44
3.5.8	Navigointitapojen vertailu .....	46
4	LAITTEISTON MÄÄRITYS .....	47
4.1	Yleiset vaatimukset AGV-järjestelmälle.....	47
4.2	Laitetoimittajan valinta.....	47
4.2.1	Solving .....	50
4.2.2	Still.....	51
4.2.3	Agilox.....	53
4.2.4	Toyota .....	55
4.2.5	K. Hartwall .....	57
4.2.6	Junghenrich .....	60
4.2.7	Laitteiston valintapäätös.....	62
4.3	Koeajojen suunnittelu .....	62
5	KOEKÄYTTÖ.....	65
5.1	Osittainen riskiarviointi.....	65
5.2	Toyota SAE-160 Staxio .....	65
5.2.1	Ominaisuudet.....	65
5.2.2	Käyttöönotto .....	69
5.2.3	Koekäyttö .....	71
5.2.4	Lisähavainnot .....	74
5.3	K.Hartwall A-Mate.....	74
5.3.1	Ominaisuudet.....	74
5.3.2	Käyttöönotto .....	79

5.3.3	Koeajo.....	80
5.3.4	Lisähavainnot .....	83
5.4	Yleisiä huomioita koeajoista .....	84
6	AGV-VERTAILU .....	85
7	JOHTOPÄÄTÖKSET .....	87
7.1	Jatkokehitys.....	88
	LÄHTEET .....	90
	LIITTEET .....	94

## KUVA- JA TAULUKKOLUETTELO

<b>Kuva 1.</b> Danfossin kotisivulta kuvankaappaus ( <a href="http://www.danfoss.com">www.danfoss.com</a> ). .....	13
<b>Kuva 2.</b> Vacon taajuusmuuttajia ( <a href="http://www.danfoss.com">www.danfoss.com</a> ). .....	14
<b>Kuva 3.</b> Tuotantoprosessi. ....	16
<b>Kuva 4.</b> Still EXV12. ....	17
<b>Kuva 5.</b> Pakettipinoja. ....	18
<b>Kuva 6.</b> Tuotepuskuri. ....	20
<b>Kuva 7.</b> Kierrätyskärryt.....	22
<b>Kuva 8.</b> Kuljetusalusta ( <a href="http://www.sew-eurodrive.de">www.sew-eurodrive.de</a> ). ....	27
<b>Kuva 9.</b> Vetotrukki ( <a href="http://www.jungheinrich.co.uk">www.jungheinrich.co.uk</a> ).....	27
<b>Kuva 10.</b> Pinoamisvaunu casun ( <a href="http://www.casun-agv.com">www.casun-agv.com</a> ). ....	28
<b>Kuva 11.</b> Hallintaohjelmisto ( <a href="http://www.waku-sense.com">www.waku-sense.com</a> ). ....	32
<b>Kuva 12.</b> Johdin lattiassa ( <a href="http://www.goetting-agv.com">www.goetting-agv.com</a> ). ....	33
<b>Kuva 13.</b> Kaapeliohjauksen laitteisto ( <a href="http://www.goetting-agv.com">www.goetting-agv.com</a> ). ....	33
<b>Kuva 14.</b> Kaapeliohjauksessa käytetyn anturin teoria ( <a href="http://www.goetting-agv.com">www.goetting-agv.com</a> ). ....	34
<b>Kuva 15.</b> IPT:n havainnekuva ( <a href="http://www.ipt-technology.com">www.ipt-technology.com</a> ). ....	35
<b>Kuva 16.</b> Magneettinauhanavigointi ( <a href="http://www.agvnetwork.com">www.agvnetwork.com</a> ). ....	36
<b>Kuva 17.</b> Magneettinauhan magneettikenttä ( <a href="http://www.goetting-agv.com">www.goetting-agv.com</a> ). ....	36
<b>Kuva 18.</b> Magneettipistenavigointi ( <a href="http://www.agvnetwork.com">www.agvnetwork.com</a> ).....	37
<b>Kuva 19.</b> Magneettipisteohjauksen peruseriaate. ....	38
<b>Kuva 20.</b> Pisteantenni ja kaksi magneettia. ....	38
<b>Kuva 21.</b> QR-viivakoodin selitteet ( <a href="http://www.pyrops.com">www.pyrops.com</a> ).....	39
<b>Kuva 22.</b> Enkooderien käyttö AGV:ssa ( <a href="http://www.quantumdev.com">www.quantumdev.com</a> ). ....	40
<b>Kuva 23.</b> Inkrementaali- ja absoluuttinen enkooderikieppo.....	41
<b>Kuva 24.</b> Optinen navigaatio käytössä ( <a href="http://www.flexqube.com">www.flexqube.com</a> ).....	41
<b>Kuva 25.</b> ToF-kuva ( <a href="http://thesmartphone-photographer.com/tof-camera">thesmartphone-photographer.com/tof-camera</a> ).....	42
<b>Kuva 26.</b> ToF-kameran toimintaperiaate (pulssikeilaus). ....	42
<b>Kuva 27.</b> ToF-kameran toimintaperiaate (vaihe-erokeilaus).....	43
<b>Kuva 28.</b> SICK Visionary-T -kamera asennettuna vihivaunuun ( <a href="http://www.sick.com">www.sick.com</a> ). .	43
<b>Kuva 29.</b> LiDAR-anturin mekaaninen toimintaperiaate.....	45

<b>Kuva 30.</b> Solving vastapainotrukki (Solving). .....	50
<b>Kuva 31.</b> Still (www.still.co.uk). .....	51
<b>Kuva 32.</b> iGo insights (www.still.co.uk). .....	52
<b>Kuva 33.</b> Agilox One (www.agilox.net). .....	53
<b>Kuva 34.</b> Käyttöliittymä agilox .....	54
<b>Kuva 35.</b> Staxio SAE 160 (toyota-forklifts.fi) .....	55
<b>Kuva 36.</b> T-ONE (toyota-forklifts.fi). .....	56
<b>Kuva 37.</b> A-Mate (k-hartwall.com).....	57
<b>Kuva 38.</b> A-Maten toiminnallisuuden mittatiedot ja -vaatimukset.....	58
<b>Kuva 39.</b> EKS-215a-vastapainotrukki (www.jungheinrich.com.sg).....	60
<b>Kuva 40.</b> Jungheinrich fleet management -työkalu.....	61
<b>Kuva 41.</b> Reittisuunnitelma.....	62
<b>Kuva 42.</b> Noutoalue. ....	63
<b>Kuva 43.</b> palo-oviaukko pääkäytävällä ja välikäytävä.....	63
<b>Kuva 44.</b> Jättöalue.....	64
<b>Kuva 45.</b> Etuskanneri ja takaskanneri.....	66
<b>Kuva 46.</b> Etäisyysanturit ja haarukka-anturit.....	66
<b>Kuva 47.</b> Tunnistin, huomiovalo ja LiDAR-navigointiskanneri. ....	67
<b>Kuva 48.</b> Ohjauslaatikko ja käsiajon ohjainkahva. ....	68
<b>Kuva 49.</b> Latausliittimet laitteessa ja laturi.....	68
<b>Kuva 50.</b> Heijastin kiinnitettynä kuormalavahyllyyn. ....	69
<b>Kuva 51.</b> Heijastimien paikat ohjelmassa ja heijastinkartan muokkausta. ....	70
<b>Kuva 52.</b> Layout Designer. ....	70
<b>Kuva 53.</b> Valmiit nouto- ja vientipisteet ohjelmassa. ....	71
<b>Kuva 54.</b> Saksinostin hakupiste.....	72
<b>Kuva 55.</b> Toyota kääntökohdan ohjelmistonäkymä ja todellinen tilanne.....	72
<b>Kuva 56.</b> Puolivalmiin tuotteen nouto ja jättö. ....	73
<b>Kuva 57.</b> A-Maten takaturva-anturin sijainti.....	75
<b>Kuva 58.</b> A-Maten hätäseis-painikkeiden sijainti.....	76
<b>Kuva 59.</b> Anturit A-Matessa.....	76

<b>Kuva 60.</b> lavan tunnistus -LiDAR (keskellä) sekä kaksi laser-etäisyysanturia. ....	77
<b>Kuva 61.</b> A-Maten merkkivalot. ....	78
<b>Kuva 62.</b> Pohjapiirustus ennen ja jälkeen algoritmin käsittelyä. ....	79
<b>Kuva 63.</b> Käsin muokattu pohjapiirustus. ....	80
<b>Kuva 64.</b> A-Mate ja lavojen jättöpisteet kahdessa tasossa. ....	81
<b>Kuva 65.</b> A-Mate ja Solvingin mobiilialusta konfliktitilanteessa. ....	82
<b>Kuva 66.</b> Deep stacking -visio. ....	88
<b>Kuva 67.</b> A-Maten Omnidrive-potentiaali. ....	88
<b>Taulukko 1.</b> Erikoislavat. ....	19
<b>Taulukko 2.</b> Tyhjäsajat. ....	21
<b>Taulukko 3.</b> Riskiarvi taulukko esimerkki (BS8800). ....	25
<b>Taulukko 4.</b> Navigointitapojen vertailutaulukko. ....	46
<b>Taulukko 5.</b> Vertailutaulukko AGV-vertailua varten. ....	49
<b>Taulukko 6.</b> Agilox. ....	53
<b>Taulukko 7.</b> Toyota SAE160 (Tuote-esite Toyota Forklifts 2022) ....	55
<b>Taulukko 8.</b> A-Mate ( <a href="http://k-hartwall.com/automated-guided-vehicles/a-mate">k-hartwall.com/automated-guided-vehicles/a-mate</a> ). ....	58
<b>Taulukko 9.</b> Jungheinrich. ....	60
<b>Taulukko 10.</b> Vertailutaulukko. ....	85

## KÄYTETYT LYHENTEET

AGV	Vihivaunu (Automatic Guided Vehicle)
AGVS	Vihivaunujärjestelmä (Automatic Guided Vehicle Systems)
AMR	Autonomous Mobile Robot
EUR-lava	800 x 1 200 mm kokoinen puinen kuormalava
LEAN	Jatkuvan kehittämisen johtamismalli
Kaizen	Jatkuvan parantamisen työkalu
5S	Työympäristön siisteyteen liittyvä työkalu
PLC	Ohjelmoitava logiikka
WLAN	Langaton tiedonsiirtoprotokolla (Myös WiFi)
LiDAR	Laserkeilaus (Light Detection and Ranging)
WMS	Varastohallintajärjestelmä (Warehouse Management System)
SAP	Tuotannonohjausjärjestelmä (Systems, Application and Products)
OPC	Avoin tiedonsiirtostandardi (Open Platform Communications)

## **LIITELUETTELO**

**LIITE 1.** Riskiarviointitaulukko AGV-koekäyttöä varten

**LIITE 2.** Esitys AGV-koekäytöistä tehtaan johdolle.

## 1 JOHDANTO

Vihivaunujärjestelmät (AGVS) ovat laajasti levinneet eri teollisuuden aloille. Nämä järjestelmät säästävät rahaa, lisäävät tehokkuutta sekä luotettavuutta materiaalien siirroille tehtaissa. /1/

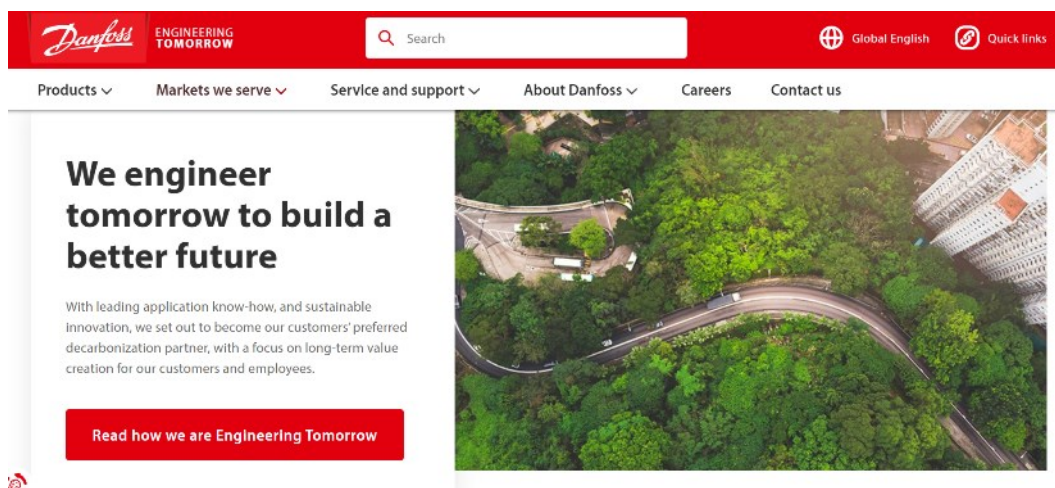
Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli järjestää AGV-trukkitesti tehtaalle, jonka perusteella voitaisiin arvioida tuotteen soveltuvuutta tehtaan toimintoihin. Laitetestiä perusteella tehtäisiin esitys tehtaan päättävälle toimielimelle, joka olisi tukena AGV-järjestelmän valinnassa.

Kyseinen työnaihe valittiin, koska tehtaalle oli kartoitettu mahdollisuutta AGV-trukkien käyttöönotolle. Lopullisen AGV-järjestelmän hankinta ja toteutus rajattiin tämän työn ulkopuolelle. Myös takaisinmaksuaikatarkastelu kyseisille laitteille on jätetty pois tästä työstä.

Opinnäytetyö jakautuu tehtaan tarveanalyysiin, katsaukseen eri AGV-tyyppeihin ja niihin liittyvään tekniikkaan. Laitteiston määrityksessä tutustutaan muutamiin eri trukki-valmistajiin ja niiden tarjoamiin tuotteisiin. Koekäyttöä varten määriteltiin alue, jota voitaisiin käyttää AGV-trukkien testaamista varten.

Koekäytöstä on tarkempi trukkitarkastusraportti, jonka jälkeen on vertailua kahden erilaisen trukin välillä. Lopuksi käydään läpi tulevaisuuden käyttömahdollisuuksia automaattisille trukeille.

## 1.1 Danfoss



**Kuva 1.** Danfossin kotisivulta kuvankaappaus (www.danfoss.com).

Danfoss on 85-vuotias globaali teknologiateollisuuden yritys, joka työllistää maailmanlaajuisesti noin 40 000 työntekijää yli 100 maassa. Yrityksen on perustanut insinööri Mads Clausen vuonna 1933 nimellä Dansk Køleautomatik- og Apparatfabrik. Yrityksen suurin omistaja on Mads Clausenin vaimon Bitten Clausenin perustama yksityinen säätiö Bitten og Mads Clausens Fond. /2/

Yrityksen liiketoiminta on jaettu karkeasti kolmeen eri osa-alueeseen, jotka ovat Climate Solutions (entinen Cooling ja Heating), Drives ja Power Solutions. Climate Solutions on markkinajohtaja mm. Ilmastoinnin jäähdytyksessä, kylmäteollisuudessa, kotitalouksien ja liikerakennusten lämmityksessä sekä kaukoenergiaratkaisuisissa. Danfoss Drives on ollut yli 50 vuoden ajan sähkömoottorien muuttuvan nopeudenohjauksen markkinajohtaja. Taajuusmuuttajia käytetään mm. hisseissä, pumpuissa, puhaltimissa, liukuportaissa, liukuovissa, kuljettimissa, sähköautoissa ja tuulivoimaloissa. Power Solutions on maailmanlaajuinen johtaja liikkuvan ja teollisen hydraulikan alalla. Teknologiaa käytetään enimmäkseen laivojen ja työkoneneiden voimansiirtoon. /2/

Suomessa Danfossilla on toimipisteitä Vaasassa, Tampereella, Lappeenrannassa ja pääkaupunkiseudulla. Näistä Danfoss Drives Vaasa on ylivoimaisesti suurin toimipiste 620 työntekijällään. Suurin osa työntekijöistä on keskittynyt tuotesuunnitteluun, -kehitykseen ja -testaukseen, tuotannon tukitoimintoihin ja muihin asiantuntijatehtäviin. Noin kolmasosa työntekijöistä on kokoonpanotyössä.

Viime vuosina Danfoss on tehnyt useita yritysostoja, jotka kuuluvat konsernin strategiaan. Viimeisimmät yritysostot ovat Eaton (2019) ja Semikron (2022). Semikronin ostolla Danfoss pyrkii varmistamaan taajuusmuuttajien käyttämien puolijohteiden saatavuuden. /3/

## 1.2 Danfoss Vaasa

Danfoss Drives Vaasan tehdas oli alun perin Vacon Oy, joka perustettiin 1993. Vuonna 2014 Danfoss teki ostotarjouksen Vaconista ja Vacon siirtyi osaksi Danfossia. Vaasan yksikkö on loppukokoonpanotehdas, jossa valmistetaan taajuusmuuttajia.



**Kuva 2.** Vacon taajuusmuuttajia ([www.danfoss.com](http://www.danfoss.com)).

Tehdaspinta-alaa on 36 000 m<sup>2</sup>, josta on 3 800 m<sup>2</sup> laboraatiopinta-alaa, 3 300 m<sup>2</sup> varastoa ja loput 7 200 m<sup>2</sup> ovat toimistopinta-alaa. Tuoteperheet ilma- ja nestejäähdytteissä taajuusmuuttajissa kattavat teholuokat 0,5 kilowattista yli 5 megawattiin. Tehtaan 620 työntekijästä 420 on toimihenkilöitä. /3/

## 1.3 Taajuusmuuttaja

Taajuusmuuttaja (AC Drive, **Kuva 2.**) on tehoelektronikkalaitte, jolla voidaan esimerkiksi säätää vaihtosähkömoottorin kierrosnopeutta ja momenttia. Moottoreiden nopeuden optimointi vähentää energian kulutusta ja mekaanista osien kulumista. Vaihtosähkömoottoreita löytyy joka puolelta. Esimerkiksi hissit, nosturit, pumput ja puhaltimet. Nykyään taajuusmuuttajia käytetään entistä enemmän myös sähkön muodon muokkaamiseen. Esimerkiksi 50 Hz taajuuden muuttaminen 60 Hz:iin tai vaihtojännitteen muuttaminen tasajännitteeksi tai toisinpäin. /4/

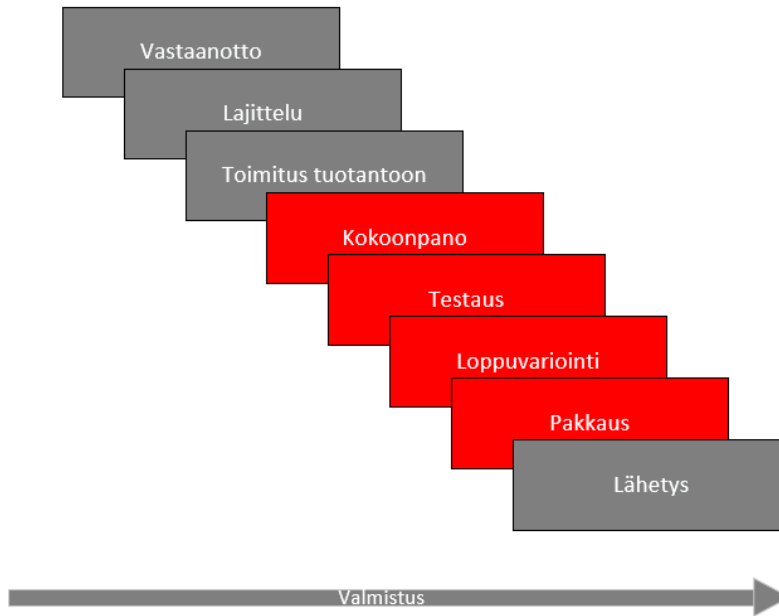
## 2 VAASAN TUOTANTO JA SEN TARPEET

Tuotannossa käytetään jatkuvan parantamisen työkaluja, esimerkiksi japanilainen Kaizen-periaate. Myös kaiken turhan minimoimiseen keskittyvä LEAN-ajattelu on osa tehtaan päivittäistä toimintaa. 5S-menetelmää käyttäen tuotanto pysyy siistinä.

Tuotannon tilat elävät jatkuvasti, koska tuottavuutta parannetaan jatkuvasti, joten pohjajapiirustukset ovat harvoin edes vuotta ajantasaisia. Tuotantokonsepteja muutellaan aika ajoin, jotta tehtaan pinta-ala voidaan käyttää tehokkaammin. Tuotantoon tulee jatkuvasti uusia tuotteita ja valmistuksessa mietitään mahdollisuuksia automaatioon ja robotiikkaan.

Vaasan tehdas toimii pääsääntöisesti kahdessa vuorossa (aamu ja ilta). Joitain toimintoja tehdään kolmessa vuorossa (yö). Tässä työssä tutkittuja AGV-laitteistoja on suunniteltu tuotantoprosessien kohtiin: kokoonpano, testaus ja pakkaus (**Kuva 3.**).

Normaali tuotantoprosessi alkaa materiaalin vastaanotosta. Seuraavaksi materiaali siirretään edelleen tuotantolinjalle käytettäväksi. Materiaalin vastaanoton, lajittelun, toimituksen tuotantoon sekä valmiiden tuotteiden lähetyksen hoitaa tehtaassa ope-roiva logistiikkayritys. Kokoonpanossa materiaali (komponentit) valmistuvat taajuusmuuttajaksi. Kun taajuusmuuttaja on valmis, tehdään sille visuaalinen tarkastus sekä taajuusmuuttajastandardien vaatimat sähköiset testit. Useille tuotteille tehdään myös loppuvariointi, joilla luodaan viimeiset erot eri tuotteiden välillä. Testattu ja tarkastettu laite pakataan tarvikkeineen ja lähetetään asiakkaalle.



**Kuva 3.** Tuotantoprosessi.

### 2.1 Jatkuva kehitys

Lean on jatkuvan kehittämisen johtamismalli. Lean idea pohjautuu Toyotan TPS-järjestelmään. Sen avulla pyritään maksimoimaan asiakasarvo minimoimalla hukkaa, kehittämällä ihmisiä ja parantamalla prosessien läpivirtausta. Hukka on kaikkea, mistä asiakas ei ole valmis maksamaan. Lean-ajattelutavassa halutaan maksimoida arvo luomalla oikeita asioita, oikea määrä, oikea-aikaisesti, oikeille tahoille ja kerralla oikein. Arvo voi olla palvelu, tuote yms. Avainsuorituskykykymittareiden (KPI) avulla visualisoidaan tuottavuutta, tehokkuutta ja hukkaa. /5/

Leaniin kuuluu useita työkaluja, joita käyttämällä voidaan pienentää hukkaa ja kehittää toimintaa. Esimerkiksi kaikki työt tulee standardoida. Ilman standardoitua työtä ei ole Leania. Kun työt ja prosessit on standardoitu, niitä voidaan kehittää. Standardia pitää myös ylläpitää. /5/

Siisti ja järjestelmällinen ympäristö luo tehokkuutta ja turvallisuutta. 5S perustuu viiteen s-kirjaimella alkavaan sanaan:

- Sorteeruus (Sort, Seiri): Poista kaikki tarpeeton.

- Systematisointi (Set in order, Seiton): Kaikelle on selkeä paikka. Värikoodaukset ja ohjeistukset ovat selkeät.
- Siivous (Shine, Seisō): Työpaikan päivittäinen siivous.
- Standardisointi (Standardize, Seiketsu): Standardoidaan työntekijöiden kanssa parhaat käytänteet, kuten siivousaikataulu ja työpisteen keskeisimmät työkalut.
- Seuranta (Sustain, Shitsuke): Pidetään huolta, että sovittuja käytänteitä noudatetaan ja päivitetään.

Kaizen on joko jatkuvan kehittämisen -menetelmä tai yksittäinen kaizen-tapahtuma. Sana kaizen tarkoittaa ”muutosta” (kai) ja ”hyvää” (zen). Kaizen kuuluu jokaisen työntekijän toimenkuvaan. Tehtävä työ = tehtävät + kaizen. /5/

## 2.1 Pinoamisvaunut

Tuotannossa erilaisten kuormalavojen ja pakkausten siirtoon käytetään pääosin perässä vedettäviä pinoamisvaunuja. Tuotannon käytössä on 20 kappaletta Still-merkkisiä pinoamisvaunuja (**Kuva 4.**). Samoissa tiloissa liikkuu myös isompia, kyhdissä seisottavia sisälogistiikkatoimitsijan trukkeja. Tehtaassa laitteiden nopeusrajoitus on 5 km/h.

Still EXV12:n pääominaisuudet ovat 1 200 kg nostokyky ja 4,3 m nostokorkeus. Pinoamisvaunu on hyvin kompakti sekä ketterä. Li-ion-akusto riittää useimmiten hyvin päivän tarpeisiin. Laitteet kytketään lataukseen vuoron päätteeksi. Laitteet kuuluvat leasing-sopimuksen piiriin, johon kuuluvat myös huollot ja latausasemat. Leasing-sopimuksen hinta on noin 50 € / kk / laite.



**Kuva 4.** Still EXV12.

## 2.2 Kuormalavat

Tuotannossa on tuhansia EUR-lava mitoitettuja lavapaikkoja. EUR-lavakoko on vakiinnuttanut paikkansa. FIN-lava (leveys 100 cm) on jäänyt kokonaan pois tuotannosta vuosien varrella.

EUR-lava on yleisin käytössä oleva 4-tie kiertoalava, jossa on 9 korokepala pohjassa. Lava valmistetaan kuivasta puusta. Lava soveltuu käytettäväksi kuljetuksessa, varastoinnissa ja vaihtolavajärjestelmissä. Standardin mukaan EUR-lava on 80x120 cm, leveys pituus. Lavaa voi käsitellä joka suunnalta. EUR-lavaa käsitellään useimmiten lyhyeltä sivulta, koska siellä ei pohjalautaa edessä. Lavan lyhyen sivun käsittelyaukot (2 kpl) ovat 22,7x10 cm. Keskellä jäävä tukipuu on 14,5 cm leveä. Lavojen käsittelylaitteiden suunnittelussa käytetään pääosin näitä mittoja. /6/

## 2.3 Valmiiden tuotteiden siirto

Kun laite on pakattu valmiiksi, paketti siirretään lähettämöön tai väliaikaiselle keräilyalueelle. Valmiit paketit ovat kuormalavoille pakattujen pahvilaatikoiden tai suurempien vanerilaatikoiden siirtoa räätälöidyillä lavoilla. Lähtökohtaisesti, jos tuote on enintään noin 50 % EUR-lavan koosta, pakataan tuote pahvilaatikkoon ja pahvilaatikot pinotaan EUR-lavalle. Kuvassa 5 näkyy EUR-lavasta poikkeavia lavoja paketteineen.



**Kuva 5.** Pakettipinoja.

Lavojen siirtelyyn AGV-trukki luultavasti soveltuu melko suoraviivaisesti, koska suurin osa lavoista on lähellä EUR-lavan mittoja. Tuotannossa on joitain yksittäisiä erikoispitkiä lavoja, jotka vaativat normaalia pidempiä trukkipiikkejä. Useita EUR-lavaa pidempiä paketteja voidaan turvallisesti kuljettaa, koska paketit täytyy nostaa trukilla paketin painammasta päästä. Lavakoot kirjattiin ylös taulukkoon, jotta alustavaa arviointia voitaisiin sen pohjalta tehdä. Lavakartoituksen jälkeen voidaan todeta, että ainakin 90 % lavavolyymista voitaisiin siirtää vakiomittaisilla (120 cm) piikeillä. 244 cm pitkä lavat vaativat niin sanottuja pitkiä trukkipiikkejä. Edellä mainittujen osuus on noin 5 % kaikista lavasiirroista. Painavin erikoislava on 800 kg (**taulukko 1.**) ja painavin EUR-lava paketteineen on 440 kg.

**Taulukko 1.** Erikoislavat.

Paketti	Mitat cm (p x l x k)	Paino (kg)
1	110 x 43 x 54	80
2	120 x 80 x 64	135
3	130 x 73 x 57	200
4	135 x 117 x 79	350
5	160 x 80 x 73	235
6	170 x 117 x 79	400
7	244 x 78 x 80	464
8	244 x 95 x 80	500
9	244 x 135 x 80	800

## 2.4 Puolivalmiiden moduulien puskurit

Puolivalmiiden tuotteiden siirtoon tuotantolinjan sisällä käytetään pääosin kuularullaratoja. Tuotteita siirrellään suurimmaksi osaksi manuaalisesti radoilla. Rullaradat vaativat suhteellisen paljon lattiapinta-alaa verrattuna esimerkiksi kuormalavahyllyihin. tuotepuskurit ovat useimmiten tuotantolinjan päässä. Puskureihin varastoidaan puolivalmiita tuotteita ennen loppuvariointi.

Kuvassa 6 näkyy erään tuotantolinjan välipuskuri, johon puolivalmiit tuotteet kulkeutuvat. Puskurissa olevat tuotteet ovat mitoiltaan 50 cm x 25 cm x 90 cm (l x k x s).



**Kuva 6.** Tuotepuskuri.

Kiinteät puskurit eivät ole optimaalinen ratkaisu ja ne vievät usein turhan paljon lattiapinta-alaa. Isoja puskureita on myös vaikea sovittaa uuteen tilaan, jos tuotantolinjaa siirretään.

AGV-puskurointiratkaisussa täytyisi puolivalmiita tuotteita mahdollisesti puskuroida ilman erillistä alustaa tai lavaa. Tätä varten täytyy rakentaa noutopiste tuotteille tuotantolinjan pätyyn, jossa on väistöt trukkipiikeille. Tuotannon olemassa olevat kuormalavahyllyt voisivat toimia puolivalmiiden tuotteiden puskurina. Hyllyjen päälle täytyisi tehdä korokkeita, jonka päälle tuotteita voitaisiin laskea. Lavahyllyissä tuotteita voitaisiin säilöä useassa tasossa, joten tilansäästö voisi olla esimerkiksi viisinkertainen verrattuna nykyiseen kuularataan.

## 2.5 Kierrätyskärryt

Jäteastioiden siirtely tehdään manuaalisesti. Ihmistyötunnit olisi syytä vapauttaa tuotavaan työhön. Tuotannossa on myös muita manuaalisia siirtoja.

Tällä hetkellä tuotantolinjoilla on metallikärryjä (**kuva 7**), joihin muovi- ja pahvijäte lajitellaan. Kärryjä on noin 30 kappaletta koko tuotannossa. Linjatyöntekijät käyvät itse tyhjentämässä kärryt niiden täytyttyä. Tyhjennys tapahtuu käsin tyhjäämällä kärryn sisältö jätepuristimeen. Tyhjäkseen käytetty aika kerättiin tuotantolinjoittain taulukkoesitykseen. Aikaa jäteastioiden siirtelyyn kuluu keskimäärin reilu puoli tuntia vuorossa (**Taulukko 2**).

**Taulukko 2.** Tyhjäsajat.

Tuotantolinja	Kustannus / vuoro (€)	Aika / vuoro (min)
Linja 1	10,5	15
Linja 2	21	30
Linja 3	21	30
Linja 4	17,5	25
Linja 5	10,5	15
Linja 6	35	50
Linja 7	55,65	79,5
Linja 8	28	40
Linja 9	12,6	18
Linja 10	23,8	34
Keskimääräinen	23,555	33,65

Nykyisistä kärryistä kaikki eivät suoraan sovellu trukkipiikeille (**Kuva 7**). Kärryjen ulkomitat ovat lähellä EUR-lavaa, 100 cm x 65 cm. Pyörien väliin jäävä tila on päissä 35 cm ja sivuilla 55 cm. Sivumitta on hieman liian kapea, jotta piikeillä nostaminen onnistuisi täysin ongelmitta. Olemassa oleviin kärryihin voisi asentaa esimerkiksi korokepalkit pohjaan pyörien irrotuksen jälkeen. Jos pyörät halutaan säilyttää, voisi niihin teettää adapteripalat, jotta piikeillä käsittely onnistuisi. Myös suoraan trukkipiikeille suunniteltuja kärryjä on markkinoilla runsaasti. Yleisellä tasolla AGV-trukilla kärryjen siirto onnistuisi helposti. Automatisoinnin vahvistamiseksi pitäisi AGV:n jatkoksi rakentaa esimerkiksi kippityyppinen teline, johon kärry viedään. Kippi hoitaa kärryn tyhjäkseen jätepuristimeen.



**Kuva 7.** Kierrätyskärryt.

### 3 TEOLLISUUSKÄYTTÖISET VIHIVAUNUT, ELI AGV:T

Vihivaunuja on ollut olemassa jo 50-luvulta lähtien. Ensimmäinen vihivaunu oli vuonna 1954 käyttöönotettu traktori, jolla oli viisi perävaunua. Kyseinen Arthur Barrettin kehittämä AGV, ”Guide-O-Matic”, seurasi kattoon asennettua kaapelia, joka myöhemmin asennettiin lattian sisään. Tarkoituksena oli korvata raskaat, jäykät, kiinteät ja kalliit kuljettimet, hakea tuottavuutta ja poistaa inhimillinen virhe yhtälöstä. Ihminen saatiin myös pois ympäristöistä, jotka olivat vaarallisia tai epämiellyttäviä (lämpötilan vaihtelu, ja niin edelleen). /7/

Määritelmän mukaan AGV (Automated Guided Vehicle) on laite, joka on itseajava. Eli toisin sanoen sitä ei ihminen aja tai ohjaa muualta. Laitteessa pitää olla järjestelmä törmäyksen estämiseen, eli laitteessa pitää olla sovellus- sekä rautatason älykkyyys. AGV:ssa täytyy olla jokin navigointitapa, jonka avulla se voi itsenäisesti liikkua. Laitteen pitää pystyä kulkemaan operaattoreiden ennalta määrittelemiä reittejä. /8/

#### AGV vs AMR

AGV kulkee ennalta määrättyä reittiä ja toiminta on hallittua. AMR (Autonomous Mobile Robot) kulkee vapaasti reittiä pitkin, jonka tekoäly katsoo parhaaksi. AGV ja AMR voi olla jopa sama laite (esimerkiksi LiDAR-navigointi on sama molemmissa), mutta AMR-laitteen ohjelmisto on kehittyneempi. Ero on hiuksen hieno, mutta asiaa voi ajatella kuin junaa ja itse ajavaa autoa. AGV kulkee paikasta A paikkaan B ”kiskoja” pitkin, mutta AMR ajaa teitä pitkin ja pystyy väistämään reitillä olevia esteitä tai valitsemaan kokonaan toisen reitin. AGV, joka käyttää navigointiin luonnollista paikannusta, on hyvin lähellä, tai jopa täysin sama laitteistotasolla kuin AMR. /9/

#### 3.1 Turvallisuus

Turvallisuus on tärkeä osa automaattisia järjestelmiä. Vihivaunut ovat lähtökohtaisesti turvallisempia kuin ihmisen ohjaamat laitteet, liikkuvat pääsääntöisesti ennalta määrättyjä reittejä pitkin, ja turvalaitteiden avulla ne eivät aiheuta vaaraa ihmiselle tai materiaalille. Automaattisen laitteiston riskit täytyy kuitenkin arvioida tapauskohtaisesti käytöympäristössä.

Jos vertaillaan ihmistä ja robottia voidaan todeta seuraavaa: ihmisen negatiivisia ominaisuuksia ovat inhimilliset virheet, vaihteleva tehokkuus ja työn laadun vaihtelu. Ihmisen positiivisia ominaisuuksia ovat joustavuus ja nopea oppiminen.

Robotin edut ovat ennustettavuus ja väsymättömyys. Robotit ovat turvallisia, luotettavia, tuottavia ja tehokkaita. Negatiivisia ominaisuuksia ovat ne, että robotit eivät kykene itsenäiseen päätöksentekoon, eivät ole vaistonvaraisia, ja toimivat aina samalla tavalla, joka voi olla samalla myös hyvä ominaisuus. /10/

### **3.1.1 Työturvallisuus**

Työturvallisuuslain toisen luvun 10 §:n mukaan työntajalle kuuluu työn vaarojen selvittäminen ja arviointi. Selvitykseen käytetään usein riskien hallintamenetelmiä. /11/

Riskien hallinta on järjestelmällistä ja suunnitelmallista toimintaa, jolla työolosuhteet tehdään turvallisiksi. Riskien hallinnassa on kolme (3) vaihetta:

1. Tunnistaa vaarat ja haitat
2. Arvioida vaaroihin liittyvien riskien merkitys työntekijöiden terveydelle ja turvallisuudelle
3. Estää, poistaa tai pienentää riskejä.

Kohdat 1 ja 2 ovat osa riskiarviointia. Kun riskien arviointi on tehty, voidaan aloittaa toimenpiteet niiden poistamiseksi, estämiseksi tai vähentämiseksi, mikäli näille toimenpiteille on tarvetta. /12/

### **3.1.2 Riskiarviointi**

Riskiarvioinnin apuna käytetään useimmiten taulukkoa, johon kerätään riskikohteet ja arvioidaan ne yksitellen. Taulukon perusteella riskeille saadaan pisteytys, jonka perusteella on helpompi lähteä tekemään korjaavia toimenpiteitä eli minimoimaan riskejä ison riskin kohteille. BS8800 standardin mukainen arviointitaulukko riskille näkyy taulukossa 3. Riskiä arvioidaan todennäköisyyden ja seurauksen perusteella. Riski pisteytetään 1, merkityksetön riski ja 5 sietämätön riski välillä.

**Taulukko 3.** Riskiarvi taulukko esimerkki (BS8800).

Todennäköisyys	Seuraukset		
	Vähäiset	Haitalliset	Vakavat
Epätodennäköinen	<b>1 Merkityksetön riski</b>	<b>2 Vähäinen riski</b>	<b>3 Kohtalainen riski</b>
Mahdollinen	<b>2 Vähäinen riski</b>	<b>3 Kohtalainen riski</b>	<b>4 Merkittävä riski</b>
Todennäköinen	<b>3 Kohtalainen riski</b>	<b>4 Merkittävä riski</b>	<b>5 Sietämätön riski</b>

Jos riski arvioidaan 1 pisteen arvoiseksi eli merkityksettömäksi tämä ei aiheuta toimenpiteitä. Jos riski arvioidaan 2–3 arvoiseksi tulisi yrittää etsiä tapoja pienentää riskiä ja aloittaa aktiivinen seuranta tämän riskipaikan kohdalla. 4 arvoisen riskin kohdalla täytyy tehdä toimenpiteitä riskin pienentämiseksi. 5 arvoisen riskin kohdalla työ tulee pysäyttää, ennen kuin korjaavat toimenpiteet on tehty. /13/

### 3.1.3 Kone- ja muut direktiivit

Konedirektiiviin 2006/42/EY mukaan koneen valmistajan tehtävä on:

- Arvioida riskit
- Selvittää konetta koskevat turvallisuusvaatimukset
- Suunnitella ja rakentaa kone olennaisten turvallisuusvaatimusten mukaisesti
- Laatia käyttöohjeet ja tehdä koneeseen tarvittavat merkinnät
- Laatia tekninen tiedosto
- Tehdä vaatimustenmukaisuusvakuutus
- Kiinnittää koneeseen CE-merkintä. /14/

Laitteen valmistajan näkökulmasta riskien tarkasteluun voidaan käyttää SCRAM-metodia (ISO 12100:2012). Tärkeimmät ja käytetyimmät riskien pienentämismenetelmät AGV-laitteessa on jaettu aktiivisiin ja passiivisiin menetelmiin.

### Aktiiviset riskin pienentämismenetelmät

- Turvalaserskannerit
- Painetunnistimella varustetut törmäyssuojat
- Turvaluokiteltu PLC.

### Passiiviset riskin pienentämismenetelmät

- Hätäseispainikkeet
- Varoitusvalot
- Äänimerkki
- Varoitustarrat laitteessa. /15/

#### 3.1.4 Turvallisuusstandardit

Automaattisten trukkien turvallisuutta koskeva standardi Euroopassa on ISO 3691-4:2020 "Industrial trucks — Safety requirements and verification — Part 4: Driverless industrial trucks and their systems". Standardi on päivitetty versio vanhasta EN 1525:1997 standardista. Standardia ei ole pakko noudattaa, mutta standardia noudattamalla ei pelkästään minimoida riittävän pientä jäännösriskiä, vaan sillä voidaan saavuttaa myös vihivaunun kokonaisvaltainen turvallisuus sisältäen suunnittelun, käytön ja huollon. Standardi ei koske kiskoilla kulkevia vaunuja tai vastaavia eikä etäohjattavia laitteita. Pohjois-Amerikassa vastaava standardi on ANSI/ITSDF B56.5-2019.

## 3.2 Vihivaunutyyppit

Tuotanto-olosuhteisiin soveltuvat materiaalia siirtävät vihivaunut on tässä jaettu kolmeen pääkategoriaan: kuljetusalusta, kuormavetäjä ja automaattitrukki. Muita vihivaunuja voivat olla esimerkiksi siivousrobotit, jne.

### 3.2.1 Automaattinen kuljetusalusta

Automaattinen kuljetusalusta (**Kuva 8.**) on nimensä mukaisesti alusta, joka liikkuu itsenäisesti.

Kuljetusalustan päällä on lähtökohtaisesti tasainen pinta kuormaa varten. Usein kuljetusalusta on varustettu esimerkiksi hihna- tai rullakuljettimella, pienellä saksinostimella

tai niiden yhdistelmällä. Kuljetin voi olla pituus- tai vaakasuunnassa suhteessa kuljetusalustaan. Kuljetusalusta voi navigoida monella eri tavalla. Esimerkiksi teipit, magneettinauhat, laser. /16/



**Kuva 8.** Kuljetusalusta ([www.sew-eurodrive.de](http://www.sew-eurodrive.de)).

### 3.2.2 Automaattinen kuorman veto

Kuormaveturit vetävät yhtä tai useampaa kuormavaunua. Vaunut voidaan jakaa kolmeen eri kategoriaan, perinteinen häkkivaunu, taksiversio, jossa vetovaunun sisällä on pienempi helposti tuotantoon irrotettava vaunu sekä hihnakuljettimella tai rullilla varustettu vaunu. Vetureilla voidaan kuljettaa yhdellä siirrolla enemmän materiaalia verrattuna yksittäiseen trukkiin. Veturien reitit optimoidaan tuotannon tarpeiden mukaan. Vetureita käytetään muun muassa materiaalsiirroissa ja jätteen siirroissa. /17/



**Kuva 9.** Vetotrukki ([www.jungheinrich.co.uk](http://www.jungheinrich.co.uk)).

### 3.2.3 Automaattitrukit

Automaattitrukit suorittavat periaatteessa samoja tehtäviä kuin manuaalitrukit. Kuten manuaalitrukkeja, myös automaattitrukkeja on erilaisia eri käyttötarkoituksia varten. Automaattitrukki vaatii toimintaansa sopivan infrastruktuurin. Perussääntönä voidaan pitää, että tila soveltuu automaattitrukeille, jos tilassa kyetään toimimaan manuaalisilla varastotrukeilla. /18/



**Kuva 10.** Pinoamisvaunu casun ([www.casun-agv.com](http://www.casun-agv.com)).

Trukkien nopeus on yleensä 5–7 km/h ja usein hieman pienempi täyteen kuormattuna.

Yleisimpiä trukkityyppejä ovat:

- Pinoamisvaunu (**Kuva 10.**)
  - Nimensä mukaisesti pinoamisvaunulla voidaan pinota kuormia. Nostokorkeus noin 1–5 metriä. Nostohaarukoiden alla on tukijalat.
- Vastapainotrukki
  - Kuten pinoamisvaunu, mutta tukijalkojen sijaan nostohaarukoiden vastapäätä laitteessa on riittävä massa, jotta tukijalkoja ei tarvita. Laitteiden fyysinen koko on edellä mainitusta syystä suurehko.
- Työntömastotrukki
  - Voidaan nostaa kuormia korkealle, usein yli 10 metriin.
- Lavatrukki.
  - Nostokorkeus on muutamia senttimetrejä. Tarkoitus siirtää lava paikasta a paikkaan b ilman nostoa. Ei vaadi monimutkaista tai tilaa vievää nostolaitteistoa. /19/

### 3.3 Käyttövoima

AGV:t käyttävät sähköä toimintoihinsa, muun muassa ajomoottoreihin ja kaikkiin muihin sähköisiin kojeisiin. AGV:t ovat täysin sähköisiä tai sähköhydraulisia. Useimmiten korkealle nostavien automaattitruckien nostomasto on hydraulinen. Sähköenergia varastoidaan AGVn akkuihin, joita täytyy aika ajoin ladata.

#### 3.3.1 Akkutyypit

Yleisimmät akkutyypit ovat lyijy- ja Li-ion-akku. Käytännössä lähes kaikki uudet laitteet myydään Li-ion-akuilla tai sen eri versioilla. Yleisin käytössä oleva käyttöjännite on 24 tai 48 VDC.

#### Lyijyakku

Lyijyakun hyviä ominaisuuksia:

- maailmanlaajuinen käyttö ja valmistus
- muunneltavuus (muoto, koko ja ominaisarvot)
- hyvä suorituskyky (mm suuret virrat)
- saatavuus huoltovapaana akkuna
- halpa hinta.

Huonoja ominaisuuksia:

- suhteellisen lyhyt elinikä (50...500 varauskertaa)
- pieni energiatiheys (30...40 Wh/kg)
- itse purkautuminen säilytettäessä
- hankala valmistettavuus pienessä koossa
- vaarallisuus terveydelle (osa malleista voi muodostaa haitallisia päästöjä). /20/

## Li-ion-akku

Li-ion-akkutyypit ovat yleistyneet vihivaunuissa. Li-ion-akun etuja ovat muun muassa:

- kennojen suljettu rakenne, ns. huoltovapaa
- suuri energiatiheys (120...150 Wh/kg)
- suuri varaus-purkaus-jaksojen määrä
- mahdollisuus varata ja purkaa nopeasti.

Huonoja ominaisuuksia

- tarve erilliselle suojapiirille
- Li-ion-akut eivät kestä kovin hyvin kylmää eikä kuumaa. /21/

### 3.3.2 Akkujen lataus

Laitteiden akkuja voidaan ladata tai niihin voidaan vaihtaa esiladattuja akkuja. Li-ion-akut mahdollistavat esimerkiksi nopeat lataukset, joten akun vaihto ei ole kovin yleistä nykymalleissa. Akun vaihto voi olla automaattinen tai manuaalinen. Lataustavat voidaan määritelmän mukaan jakaa neljään kategoriaan.

#### Lataustavat

- Lataus aina silloin kun laite on toimeton
- Automaattinen lataus, kun akun varaustaso on alhainen
- Kahden edellisen yhdistelmä (yleisin)
- Kisko-lataus. Laite ajaa reitillä olevaa "latauskiskoa" pitkin, esimerkiksi pitkät käytävät. /22/

#### Langaton lataus

Uusimpana lataustapana markkinoilla on langaton lataus. Perinteinen lataus tapahtuu metallisten kontaktipintojen välityksellä laturi – laite. Langattomassa latauksessa hyödynnetään induktiota. Langattomassa latauksessa laitteen ja laturinvälillä ei ole fyysistä kontaktia. Langattoman latauksen etuja on parempi hyötysuhde latauksessa (95 % vs 75 %). Etuihin kuuluu myös se, että kontaktipinnat eivät kulu langattomassa latauksessa,

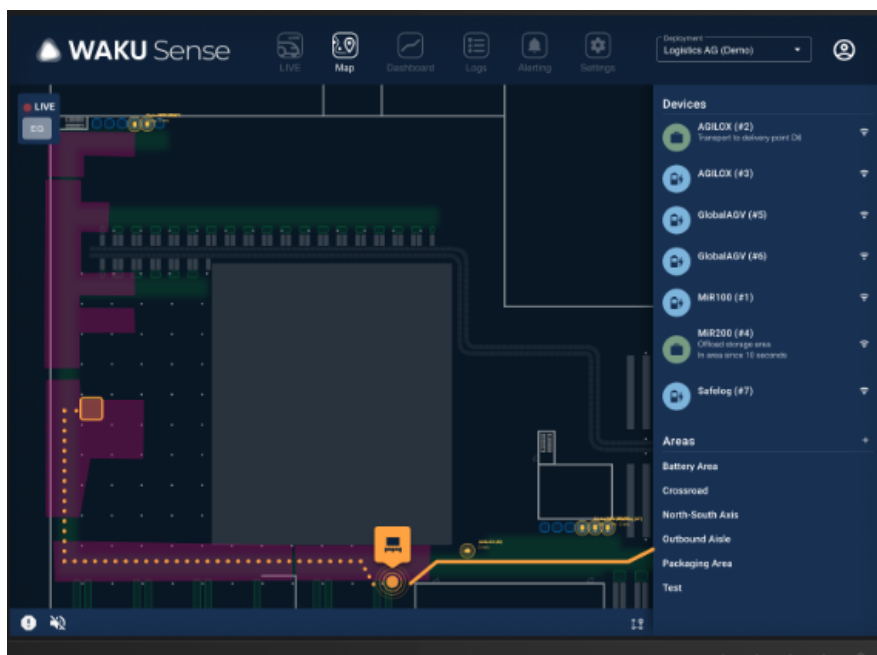
eikä kontaktissa ole likaantumisongelmia. Langattomassa latauksessa laitteen asemointi latauksen ajaksi ei myöskään ole niin tarkkaa kuin langallisessa latauksessa. /23/

### 3.4 Vihivaunujen hallinta

Vihivaunuja hallitaan teollisuudessa pääsääntöisesti hallintaohjelmistolla, eli Fleet Managereilla. Vihivaunuissa on ohjausyksikkö (PLC) ja ohjelmisto, mutta kaikki komennot tulevat hallintasovelluksen kautta. Hallintasovellus koostuu usein useista eri ohjelmista, muun muassa palvelinohjelmisto, käyttöliittymäohjelmisto ja niin edelleen. Hallintaohjelmisto on useimmiten palvelinkoneella (PC) tai nykyään jopa pilvipalveluna. Yhteys mobiililaitteiden ja palvelimen välillä muodostetaan WiFi-yhteydellä. Hallintaohjelmiston käyttö ja seuranta on usein mahdollista web-selaimen kautta, joka tuo lisää vapausasteita käyttöön. Hallintaohjelmisto varmistaa, että vihivaunujen käyttöaste olisi mahdollisimman korkea ja esimerkiksi erilaiset toimintakonfliktit useiden laitteiden välillä voidaan estää. Tämä parantaa järjestelmän kustannustehokkuutta. /24/

Nykyään lähes kaikki vihivaunutoimittajat tarjoavat hallintaohjelmiston laitteiston ohjaukseen. Myös erillisiä hallintaohjelmistoja on saatavilla (**Kuva 11.**). Hallintasovelluksien yleisimpiä ominaisuuksia:

- Älykäs tehtävien jako mobiililaitteille
- Laitteiden latauksen hallinta
- Liikenteen hallinta
- Simulointi
- Reaaliaikainen seuranta
- Data, KPI-mittarit
- Ilmoitukset, hälytykset
- Pilviyhteydet. /25/



**Kuva 11.** Hallintaohjelmisto (www.waku-sense.com).

#### **AGV-järjestelmän sovellushierarkia:**

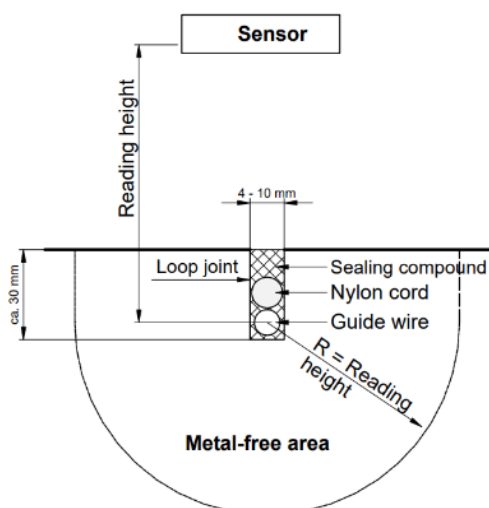
1. Käskytaso, käskyt tulevat yhdeltä tai useammalta taholta
  - a. ERP/MES/WMS on tuotannon järjestelmä, josta käskyt etenevät prosessissa automaattisesti.
  - b. Operaattorit antavat käskyjä käsin, muun muassa painonapit ja päätteet.
  - c. Käskyt suoraan toiselta laitteelta (esimerkiksi robotilta).
2. Hallintaohjelmisto
  - a. Vastaanottaa käskyt ja jakaa käskyt vihivaunuille.
3. Laiteohjelmistot (vihivaunut)
  - a. Navigointi (esimerkiksi laser skannerit)
  - b. Ohjauksen hallinta (anturit pyörissä, laitteen ulkopinnoilla)
  - c. Kuorman hallinta (erilaiset anturit laitteessa).
4. Muut ohjelmistot
  - a. Suunnittelutyökalut, esimerkiksi reittisuunnittelu
  - b. Huoltotyökalut, esimerkiksi ylläpitosovellukset, diagnostiikkasovellukset.

### 3.5 Navigointitavat

Navigointitapoja on useita, jotka ovat ajan myötä kehittyneet yhä paremmiksi. Ensimmäiset ohjaustavat ovat olleet kaapelien ja magneettinauhojen asentamista AGV:n yläpuolelle, lattian alle tai päälle. Suunta on kuitenkin vahvasti menemässä laser-ohjattuihin menetelmiin, joskin perinteisillä ohjaustavoilla on edelleen paikkansa eikä yksi navigointitapa ole aina välttämättä parempi kuin toinen. Seuraavassa on käyty läpi yleisimmät navigointiteknologiat.

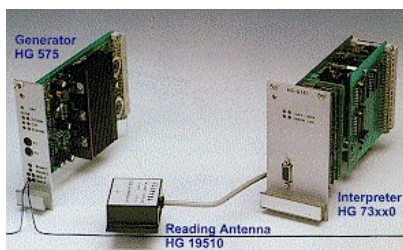
#### 3.5.1 Kaapeli

Kaapeliohjaus on yksi ensimmäisistä ja perinteisimmistä ohjaustyypeistä. Lattian alle on asennettu halkaisijaltaan 4–10 mm paksuinen johdin noin 25 mm syvyyteen (**Kuva 12.**), jolla ohjaus on toteutettu.



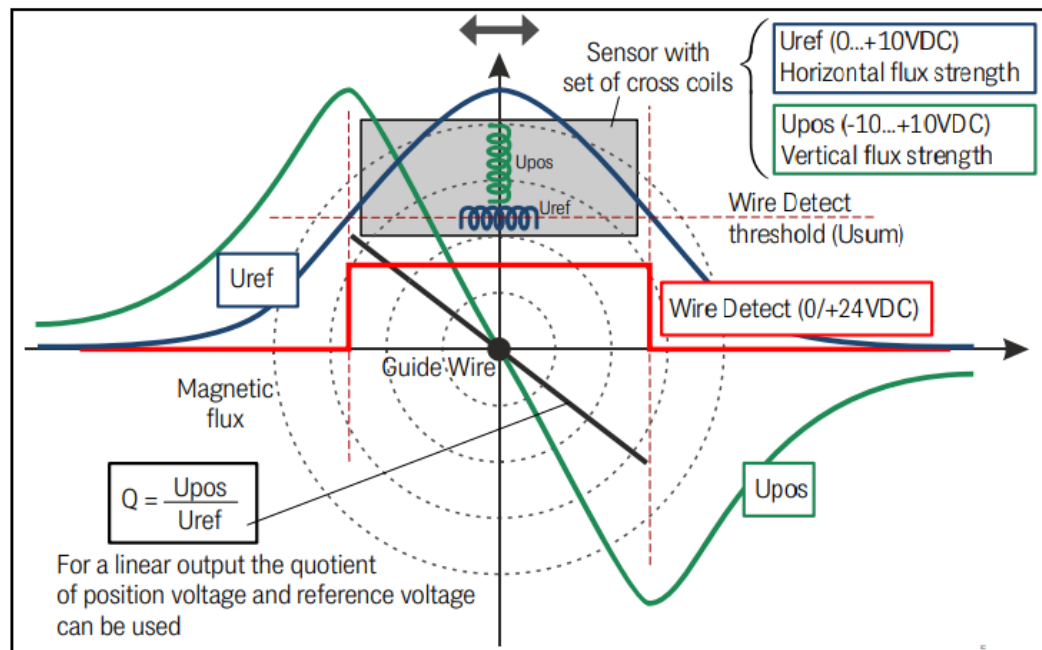
**Kuva 12.** Johdin lattiassa ([www.goetting-agv.com](http://www.goetting-agv.com)).

Linjaan kytketty taajuusgeneraattori ohjaa yhtä tai useampaa AGV:ta muuttamalla taajuutta (esim. AC, 100 mA, 2-10 kHz). /27/



**Kuva 13.** Kaapeliohjauksen laitteisto ([www.goetting-agv.com](http://www.goetting-agv.com)).

AGV:n pohjaan lähelle lattiapintaa sijoitettu induktiivinen antenni tunnistaa johtimen magneettikentän horisontaalisen ja vertikaalisen magneettikentän komponentin. Antennia liikutteleamalla kohtisuoraan ohjausjohtimen yläpuolella saadaan aikaiseksi kaksi eri tunnusomaista jännitettä, joilla voidaan määrittää AGV:n sijainti sivuttaissuunnassa johtimeen nähden. AGV:ta voidaan kääntää jopa 70 asteen kulmassa menosuuntaan nähden. /28/

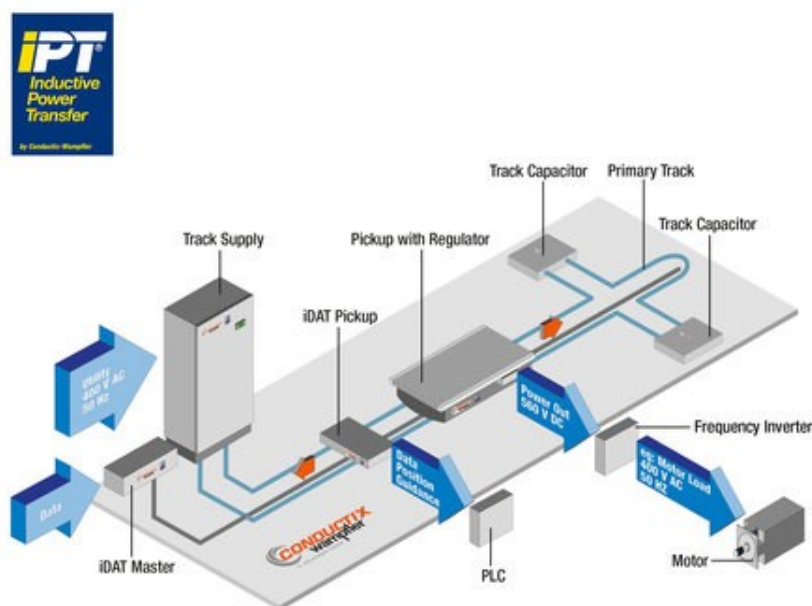


**Kuva 14.** Kaapeliohjauksessa käytetyn anturin teoria ([www.goetting-agv.com](http://www.goetting-agv.com)).

Kuvan 14  $U_{pos}$  (summajännite) on pystykelan jännite ja  $U_{ref}$  (erojännite) on vaakakelan jännite.  $U_{ref}$  kertoo, kuinka lähellä johtimen keskikohta ollaan ja  $U_{pos}$  kummalla puolella. Wire Detect ("johdin havaittu") on +24 VDC jännite, joka kytkeytyy päälle, jos jännite  $U_{ref}$  ylittää määritellyn kynnyksjännitteen. Tätä ulostuloa käytetään usein pysäyttämään AGV, mikäli se suistuu johdinradalta. /29/

Kaapeliohjaus soveltuu loistavasti ympäristöihin, joissa AGV:lle halutaan mm. korkeita nopeuksia (>10 m/s), ohjaustarkkuutta, luotettavuutta ja matkat ovat pitkiä (1-2 km). Kaapelinavigointi on hyvin kestävä ratkaisu eikä ole altis esim. jäälle, lumelle, lialle, kulumalle, öljylle tai alkaleille, eikä vaadi huoltoa. Haastavat olosuhteet, kuten ääripään lämpötilat tai muuttuva ympäristö eivät vaikuta navigointiin. Kaapeli-AGV on edullinen vihivaunu, joka ei välttämättä vaadi edes akkuja liikkuakseen, vaan sähkönsyöttö tulee

langattomasti indusoitumalla ohjauskaapeliin viereen asennetuista sähköjohdoista (Inductive Power Transfer, IPT®). /30/



**Kuva 15.** IPT:n havainnekuva ([www.ipt-technology.com](http://www.ipt-technology.com)).

Vaikka kaapeliohjaus on huoltovapaata, niin alkuinvestointi on kallista eikä järjestelmä ole tunnettu joustavuudestaan. Kaapeleita varten täytyy avata ura maahan, joten reittimuutosten tekeminen on monimutkaista, kallista ja hankalaa. Lisäksi järjestelmä vaatii ulkoisen laitteiston generoimaan ohjaussignaaleja (**Kuva 15.**). /31/

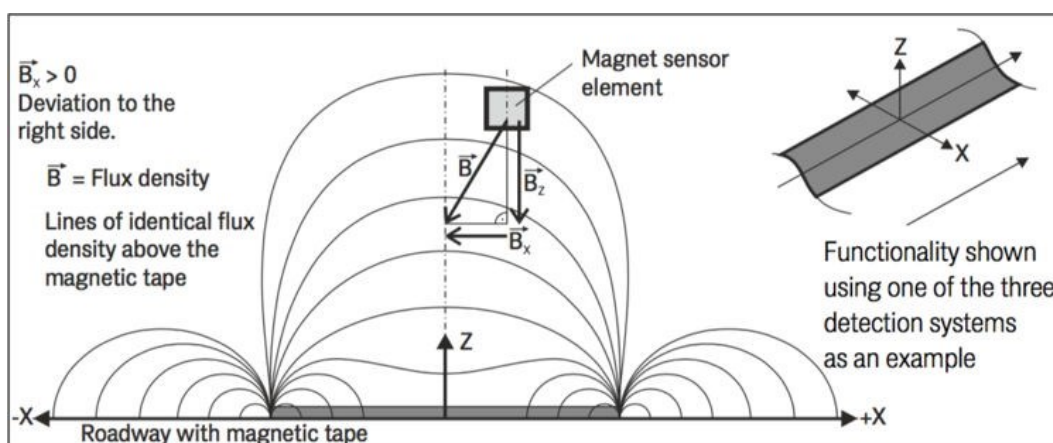
### 3.5.2 Magneetti

Magneettiohjaus on toinen suosittu AGV:n ohjaustapa, joka jakaantuu kahteen eri asennustapaan. Ensimmäinen asennustapa on liimata tai upottaa 1 mm paksu ja 50 mm leveä magneettinauha, jota pitkin AGV kulkee (**Kuva 16.**). Toisessa tavassa lattiaan upotetaan 10 x 20 mm kokoisia magneetteja, joita käytetään navigoinnissa.



**Kuva 16.** Magneettinauhanavigointi ([www.agvnetwork.com](http://www.agvnetwork.com)).

Magneettinauhanavigointi perustuu käytännössä samaan anturitekнологiaan kuin kaapeliohjaus. AGV:hen asennettu anturi tunnistaa magneettikentän ja kummalla puolen nauha kuljetaan (**Kuva 17.**). Yksinkertainen ohjaus voidaan toteuttaa asettamalla magneettinauhan viereen magneettisia tunnuksia ja merkkejä, jotka mm. magneetin polariisuutta hyväksi käyttäen kertovat AGV:lle esim. milloin hidastaa, kiihdyttää tai kääntyy. Ohjausta voidaan täydentää esim. magneettinauhan viereen asennettavilla RFID-kortteilla, jonka AGV lukee ottaakseen vastaan ohjaukskäskyjä. Koska nauha on asennettu lähes aina koko reitin matkalta, niin myös navigointi jatkuu katkeamattomana jopa  $\pm 1$  mm tarkkuudella. Joskus magneettinauha katkaistaan, jotta raskaat AGV:t voivat rullata vapaasti reitin yli kääntyessään, joka puolestaan vaikuttaa navigoinnin vakauteen. /32, 33/



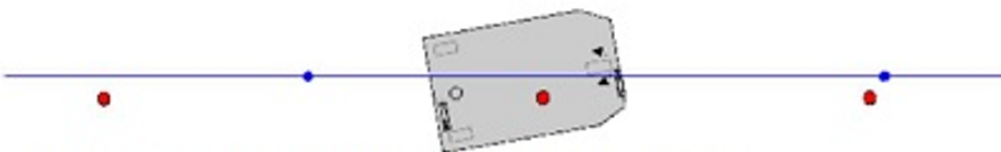
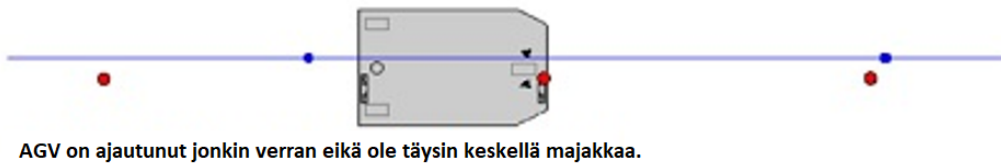
**Kuva 17.** Magneettinauhan magneettikenttä ([www.goetting-agv.com](http://www.goetting-agv.com)).

Magneettinauhanavigoinnin hyviin puoliin lukeutuu helppo ja edullinen alkuinvestointi, mikäli nauha asennetaan pinta-asennuksena. Nauha on myös selkeästi näkyvillä, joten vihivaunujen reitti on kaikille selkeä. Reittien muuttaminen ja lisääminen on huomattavasti helpompaa kuin kaapelinavigoinnissa, mutta magneettinauha ei voi toimia virtalähteenä AGV:lle, joten itse AGV:lle tulee hieman enemmän hintaa kuin kaapeli-AGV:lle. Ääriolosuhteet tai lika eivät vaikuta navigointiin, mutta navigointi on tarkoitettu vain sisätiloihin. Jos nauha on pinta-asennettu, on se mm. kulumiselle altis – myöskään ferromagneettisia metalleja ei saa joutua liikaa nauhalle tai navigointi voi häiriintyä merkittävästi.



**Kuva 18.** Magneettipistenavigointi ([www.agvnetwork.com](http://www.agvnetwork.com)).

Magneettipistenavigoinnissa maahan on upotettu lieriömäisiä magneettisia pisteitä ("majakoita") noin 250–500 mm välein (**Kuva 18.**). AGV seuraa reittiä magneettisesta pisteestä seuraavaan mittaamalla pisteiden välistä etäisyyttä käyttäen hyväksi hallin ilmiötä, renkasiin asennettuja enkoodereita, laskureita ja gyroskooppisia antureita, jotta ohjauksulmavirheet saadaan neutralisoitua mahdollisimman hyvin ennen seuraavaa pistettä. Tällä tavoin saadaan aikaiseksi  $\pm 2,5$  mm tarkkuus, joka on huomattavasti parempi kuin vapaammissa navigointitavoissa. /34/



**Kuva 19.** Magneettipisteohjauksen peruseriaate.

AGV:n ohjausjärjestelmän muistiin on tallennettu CAD-pohjapiirustus, jota pitkin AGV:n pitäisi kulkea. Maahan upotetut magneetit (**Kuva 19 ja 20.**) antavat AGV:lle referenssin karttaan nähden. Magneettien ei tarvitse olla suorassa linjassa, vaan niistä voidaan tehdä ns. verkko, jossa navigointi voi olla vapaata.



**Kuva 20.** Pisteantenni ja kaksi magneettia.

Magneettipistenavigointi on kaapelinavigoinnin tapaan asennettu maan tai lattiaan alle. Kestävyys ja huoltovapaus ovat myös magneettipistenavigoinnin hyviä puolia. Asenta-

minen on kuitenkin melko kallista ja hidasta verrattuna magneettinauhaan. Navigointitapa on myös altis muille ferromagneettisille metalleille reitin varrella. Kuten kaapeli- ja magneettinavigointi-menetelmissä, itse AGV on hinnaltaan hyvin kilpailukykyinen verrattuna esimerkiksi kehittyneempiin laserohjattuihin vihivaunuihin.

Magneettipistenavigointia käytetään myös usein muiden navigointitapojen rinnalla parantamassa ohjaustarkkuutta, kuten esimerkiksi reitin päätepisteessä. /35/

### 3.5.3 QR-viivakoodi

QR-viivakoodin avulla navigoiminen on yksi optisista navigointitavoista. Menetelmä muistuttaa magneettipistenavigointia, mutta magneettikentän sijaan lattiasta luetaan QR-koodi, joka kertoo AGV:lle tarkan sijainnin ja suuntauksen. Tämä mahdollistaa täsmällisen ajamisen seinättömässä tilassa, jossa muiden navigointimenetelmien, kuten laser-, johdin- ja magneettinauhaohjauksen käyttäminen ei ole mahdollista tai mielekäästä. Menetelmä sopii erinomaisesti useasti muuttuvaan ympäristöön. QR-koodi voidaan lukea joka suunnasta kameralla, joka on sijoitettu AGV:n pohjaan. Vaikka QR-koodit on liimattu lattiaan ja suojattu hartsilla, vaativat ne silti paljon huoltoa kulumisen ja likaantumisen vuoksi. Vastapainoksi vaikealle ylläpidolle yksittäisen AGV:n hinta on verrattain pieni. QR-koodi voidaan silti lukea, vaikka se olisi 30 % vaurioitunut. Navigoinnin luotavuutta parannetaan usein yhdistämällä se inertiaaliseen ohjaukseen, joka selitetään kappaleessa 3.5.4.

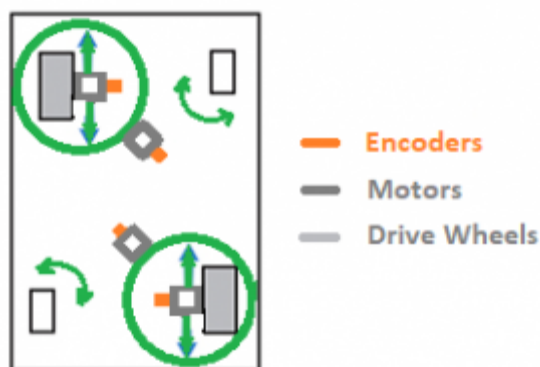


Kuva 21. QR-viivakoodin selitteet (www.pyrops.com).

### 3.5.4 Inertiaalinen

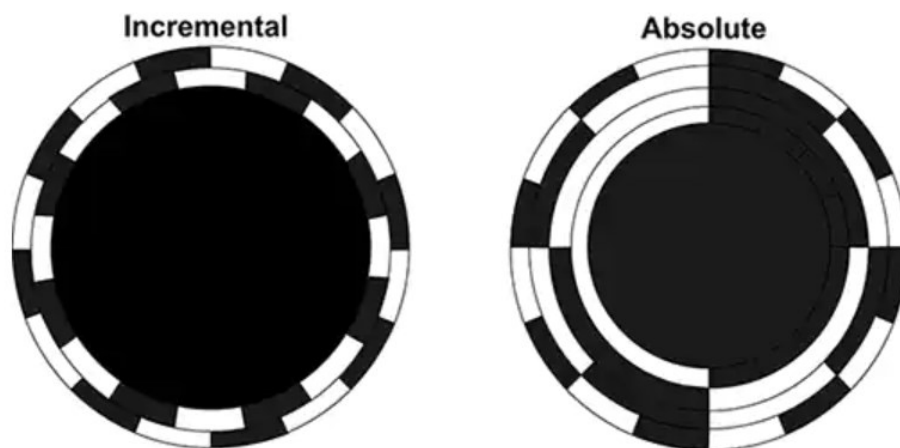
Inertiaalisessa navigoinnissa (inertiasuunnistus) käytetään hyväksi kiihtyvyyssantureita, gyroskooppeja ja jopa magneettisia antureita päättelemään objektin nopeus, suunta, asento ja paikka merkintälasku-navigointimenetelmällä. Inertiaaliselle mittausyksikölle

(IMU/INS) annetaan tarkka lähtöpaikka, jonka perustella voidaan laskea tarkasti AGV:n sijainti (**Kuva 22.**). Inertianavigointia käytetään usein täydentämään muita navigointimenetelmiä, koska navigointitarkkuus heikkenee, mitä kauemmin ja pidemmälle AGV on kulkenut. Ulkoisen referenssin AGV saa yleensä magneettipisteestä tai QR-koodista, jolla saadaan tarkastettua AGV:n tarkka sijainti ja suuntauskulma. Menetelmällä päästään noin  $\pm 10$  mm navigointitarkkuuteen ja  $\pm 0,1$  asteen kulmatarkkuuteen. Kyseistä yksikköä käytetään vihivaunujen lisäksi lentokoneissa, sukellusveneissä, laivoissa, lentokoneissa, ohjuksissa ja avaruusaluksissa mm. IMU:n edullisuuden ja riittävän tarkkuuden vuoksi. Gyroskoopin ja kiihtyvyyssanturien rinnalla käytetään usein sähkömekaanisia kulma-antureita, jotka mittaavat AGV:n renkaiden kulmaa ja nopeutta. Enkooderikiekon läpi syötetään valoa, joka mitataan toiselta puolelta, jolloin saadaan tietää haluttu asia, kuten kulmatieto. Kulma-antureita on kahden tyyppisiä: pulssi ja absoluuttisia.



**Kuva 22.** Enkooderien käyttö AGV:ssa ([www.quantumdev.com](http://www.quantumdev.com)).

Inkrementaalinen eli pulssianturi tietää suunnan ja nopeuden. Pulssien määrä on vakio yhtä kierrosta kohti, joten pulssianturi osaa kertoa asennon niin kauan kuin kierroslukulaskuri toimii häiriöttä. Jos asentotieto menetetään, täytyy anturille suorittaa referenssipistekalibrointi.



**Kuva 23.** Inkrementaali- ja absoluuttinen enkooderikiekko.

Absoluuttianturi kertoo suunnan ja nopeuden lisäksi myös aina asennon, vaikka anturista olisi välillä kytketty sähköt pois. Tämän mahdollistaa anturin enkooderikiekon epäsymmetrinen kuvio (**Kuva 23.**), eli jokainen asento on ainutlaatuinen. /36/

### 3.5.5 Optinen

Optinen navigaatio käyttää AGV:n pohjaan asennettua kameraa, jonka algoritmi tunnistaa maahan teipatun nauhan tai maalatun viivan värin. Menetelmä on helppo ja halpa, mutta hyvin altis lialle ja kulumiselle. Navigointitarkkuus on myös kaikista menetelmistä heikoin. Navigointitapa soveltuukin hyvin puhtaisiin ympäristöihin, joissa on tasainen lattia. /37/



**Kuva 24.** Optinen navigaatio käytössä (www.flexqube.com).

### 3.5.6 Visuaalinen (3D-näkö)

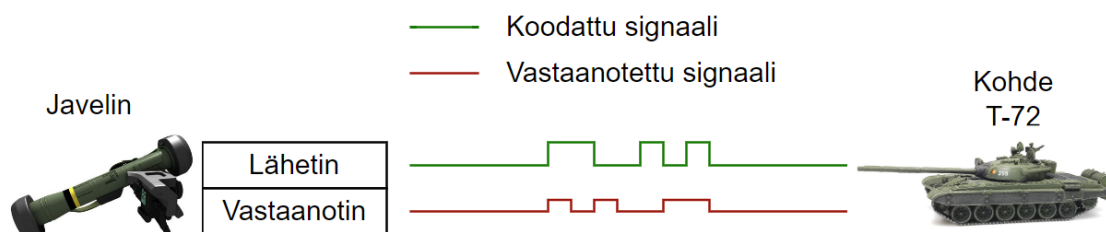
Visuaalista navigointia ei käytetä varsinaisesti vielä AGV:n ohjaukseen vaan sitä käytetään muun muassa kuorman ja esteiden tunnistamiseen. 3D-näköteknologioita on useampia, joista käytetyimpiä ovat stereonäkö, strukturoituvalo ja Time-of-Flight (ToF) (Kuva 25.). Näistä vain viimeistä käytetään vihivaunuissa.

Nopeat ja luotettavat ToF-kamerat ovat varsinkin AGV-käytössä hyvin uutta teknologiaa, jota ei vielä näe AGV-valmistajien tuotteissa. Perinteiset turvaskannerit tunnistavat yleensä vain yhdessä tasossa esteitä rajatulle etäisyydelle, joten ToF-kamerat tuovat esteiden tunnistukseen suunnattoman potentiaalin. On olemassa esimerkkejä, joissa AGV:n edessä ollut este ei ollut näkynyt maatasen turvaskannereissa, joten vihivaunu on törmännyt muun muassa reitillä olleeseen henkilönostimeen. /38/



Kuva 25. ToF-kuva (thesmartphone-photographer.com/tof-camera).

ToF-kamerat käyttävät kahta eri keilausmenetelmää mitata objektien etäisyyttä ja sijaintia kamerasta: pulssimittaus ja vaihe-eromittaus.



Kuva 26. ToF-kameran toimintaperiaate (pulssikeilaus).

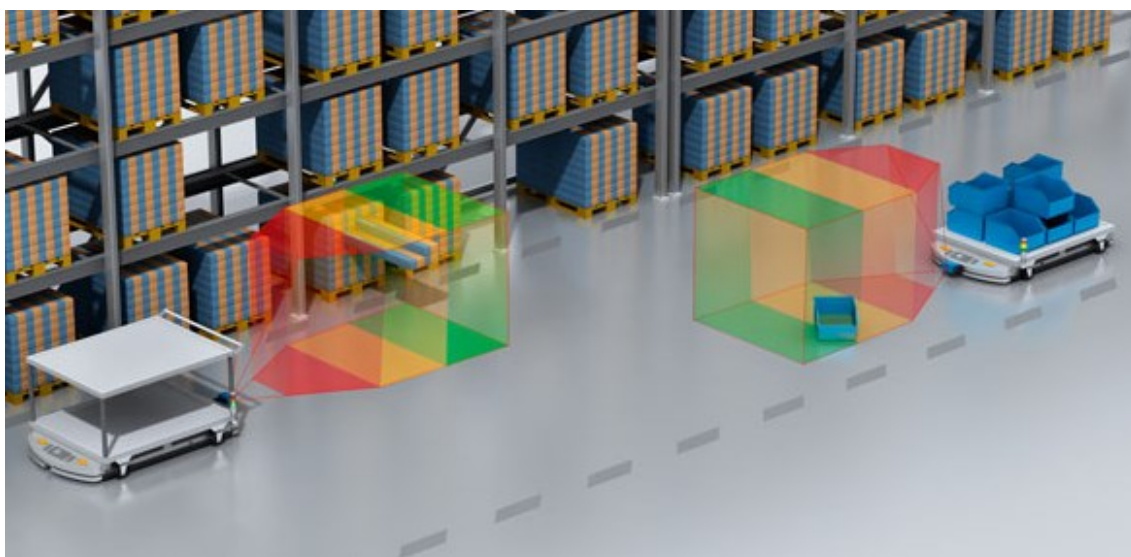
Pulssimittauksessa lähetetään sarja koodattuja laserpulsseja, joiden avulla mitataan etäisyys kohteeseen käyttämällä hyväksi pulssien lähtö- ja paluuhetkeä. Myös kohteen sijainti verrattuna lähettimeen saadaan tarkasti selville mittaustarkkuuden ollessa alle millimetrin luokkaa.



**Kuva 27.** ToF-kameran toimintaperiaate (vaihe-erokeilaus).

Vaihe-eromittauksessa lähetetään jatkuvaa lasersäteilyä kohteeseen, jonka vastaanotetun vastineen vaihe-ero mitataan. Yleensä lähetetään kahta tai useampaa signaalia, koska esimerkiksi pidemmät matkat saadaan mitattua paremmin pidemmillä aallonpituuksilla. Menetelmässä täytyy tietää lähetetyn lasersignaalin aallonpituuden taajuus, josta voidaan päätellä, montako siniaaltoa lähettimen ja vastaanottimen välissä on. Menetelmän tarkkuus on myös alle millimetrin luokkaa AGV-käytössä oleville etäisyyksille.

/39, 40/



**Kuva 28.** SICK Visionary-T -kamera asennettuna vihivaunuun ([www.sick.com](http://www.sick.com)).

### 3.5.7 Laser

Laser-navigointi voidaan jakaa karkeasti kahteen eri kategoriaan: luonnollinen paikannus ja heijastimiin perustuva navigointi.

#### LiDAR

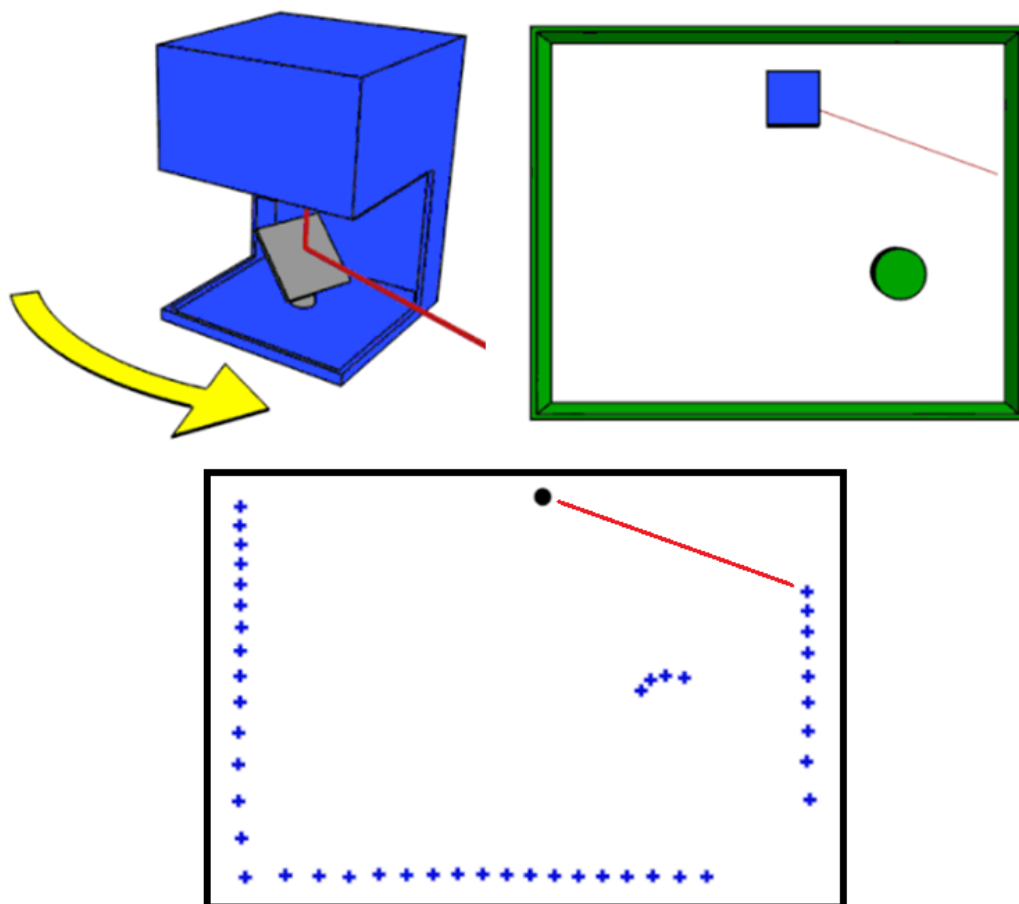
LiDAR (**L**ight **D**etection and **R**anging), suomeksi valotutka, muistuttaa tekniikalta paljon ToF-kameraa, mutta usein vain 2D-tasossa. Myös LiDAR lähettää laservaloa, jonka takaisin heijastuneesta säteestä voidaan laskea kohteen etäisyys seuraavalla kaavalla:

$$d = \frac{c * t}{2}$$

#### **Kaava 1.** Etäisyyden mittaaminen

d on etäisyys kohteeseen, c on valonnopeus ja t aika, joka säteellä kului matkalla kohteeseen ja takaisin anturille.

Mekaanisesti itse laser ja vastaanottava anturi eivät pyöri LiDAR-tutkassa, vaan pyörivän liikkeen mahdollistaa pyörivä peili, joka suuntaa säteet, jotka muodostavat anturin ympärille tasokoordinaatiston ympäristön ääri viivoista tai heijastimista (**Kuva 29.**).



**Kuva 29.** LiDAR-anturin mekaaninen toimintaperiaate.

LiDAR on anturina todella tarkka, jolla päästään jopa 0,5 mm tarkkuuteen. Tarkkuudenpuolesta laser-ohjatut AGV:t ovat tarkimmasta päästä, jotka voidaan ajaa toistuvasti samaan paikkaan 5 millin tarkkuudella. Tehdasolosuhteissa laserohjatun AGV:n tarkkuus on äärimmäisen korkea ja mahdollistaa suuren AGV:n kulkunopeuden, jota rajoittaa enemmänkin turvallisuusstandardit kuin teknologia. Jos ympäristö tai heijastimien paikat eivät muutu merkittävästi, niin lasernavigointi ei vaadi juurikaan huoltoa tai ylläpitoa. /41/

LiDAR toimii kuitenkin huonosti sumuisissa (vesihöyry), pölyissä ja muissa olosuhteissa, joissa ilmassa saattaa olla paljon partikkeleita. Myös korkeat lämpötilat, jotka saavat ilman väräilemään, aiheuttavat merkittäviä häiriöitä mittausluotettavuuteen.

LiDAR ei vaadi välttämättä muutoksia ympäristöön (esim. heijastimet), mutta on navigointijärjestelmien kalleimmasta päästä. Muun muassa reittimuutosten tekeminen tai

ympäristön uudelleen skannaaminen kartaksi on monimutkainen ja aikaa vievä prosessi, joka voi vaatia jopa laitetoimittajan asiantuntijan osaamista. AGV-käytössä LiDAR voi hetkellisesti hukata sijaintinsa ympäristöön nähden, jos vihivaunu ajaa pienenkin esteen tai sauman yli, ja AGV kallistuu hieman. Harvinaisempia tilanteita, joissa AGV voi hukata sijaintinsa on AGV:n ympärillä LiDARin skannauskorkeudella olevat tai liikkuvat suuret esteet, esimerkiksi korkeat päällekkäiset lavat, jotka vaikuttavat merkittävästä LiDARin ”näkemiseen” tiettyihin suuntiin. /42/

Valmistajat ovat tietoisia heijastavien pintojen tuomista mittavirheistä, jotka korjataan algoritmeilla ja korjaamalla käsin skannattua karttaa jälkeenpäin.

### 3.5.8 Navigointitapojen vertailu

Kun eri navigointitapoja vertaillaan, voidaan sanoa, että paras navigointitapa riippuu käyttöympäristöstä. Esimerkiksi induktioon perustuva navigointijärjestelmä on hidas ja kallis perustaa, mutta on erittäin tarkka. Luonnollinen navigointi on usein aika kallis laitteen osalta, mutta esimerkiksi reittimuutosten tekeminen ovat verrattain helppoja. Taulukossa 4 vertailua eri navigointitapojen välillä.

**Taulukko 4.** Navigointitapojen vertailutaulukko.

Ominaisuus	Navigointitapa				
	Laser	Magneetti- nauha	Luonnollinen	Magneettipiste	Induktio
Paras					
Hyvä					
Tyydyttävä					
Huono					
Asennuksen helppous	Yellow	Yellow	Green	Yellow	Red
Joustavuus	Orange	Orange	Green	Orange	Red
Asennus- kustannus	Yellow	Orange	Green	Orange	Red
Laitekustannus	Orange	Green	Orange	Yellow	Yellow
Luotettavuus	Green	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow
Tarkkuus	Green	Yellow	Yellow	Orange	Green
Ylläpito	Yellow	Red	Green	Green	Orange

## 4 LAITTEISTON MÄÄRITYS

Työtä lähdettiin viemään eteenpäin etsimällä tietoa eri laitevalmistajista. Lopullisena tavoitteena oli saada testilaitteita fyysisesti tehtaalte, joiden avulla voitaisiin käytännössä todeta tuotteen soveltuvuus tehdasympäristöön. Koekäyttöjä varten suunniteltiin koekäyttöalue ja kartoitettiin millaisia tehtäviä laitteistolla aiotaan kokeilla.

### 4.1 Yleiset vaatimukset AGV-järjestelmälle

Tuotannon pääkäytävien leveys on 3,5 metriä ja sivukäytävät 3 metriä. Nämä mitat asettavat haasteita ainakin fyysisesti isoille trukeille. Saksityyppiset trukit eivät sovellu nostoihin kuormalavahylyistä. Tuotannon SAP-liitettävyyys on myös oleellinen osa laitteistoa. Tuotannossa on myös automaattinen teollisuusroboteilla varustettu pakkaussolu sekä pari mobiilialustaa. Näiden järjestelmien yhteensovittaminen automaattisen pi-noamisvaunun kanssa tulisi myös huomioida.

### 4.2 Laitetoimittajan valinta

Tutustuimme nettisivujen ja sähköpostikyselyiden perusteella muutamiin laitetoimittajiin. Tavoitteena oli saada vähintään kaksi laitetta koekäyttöä varten, jotta voisimme myös vertailla laitteita keskenään. Laitteiden vertailuun käytettiin pisteytystaulukkoa (**Taulukko 5**). Taulukkoon valitsimme sellaisia parametrejä, jotka ovat tehtaan toimintojen näkökulmasta tärkeitä. Määritimme myös painotukset eri ominaisuuksille niiden käyttöarvon perusteella.

#### **Nostokapasiteetti**

Tähän sisältyy nostokorkeus ja kuorman paino. Jätteiden käsittely ja pakettien vienti eivät vaadi nostokorkeutta merkittävästi. Puolivalmiiden laitteiden puskurointi vaatii mahdollisesti jopa 4 metriä nostokorkeutta, mikäli niin korkealle halutaan laitteita nostaa. Nostokyvvyksi tehtaassa riittää 1 000 kg.

## **Tilantarve**

Tilantarve mittaa AGV:n fyysistä kokoa ja liikkumiseen tarvittavaa tilaa suoralla, mutkissa ja paikalla kääntyessä. Käytävien koon takia tilantarpeella on korkein painoarvo. Tehtaan käytävät ovat pääosin 3,5 m – 3 m leveitä. Puolivalmiiden laitteiden nouto tuotantolinjan sisältä mahdollisesti rajaa käytettävissä olevan tilan alle edellä mainittujen mittojen.

## **Navigointitapa**

Kaikki navigointiteknologiat eivät sovellu Vaasan tehtaan tarkoituksiin ja laser-navigointi -menetelmiäkin on useita. Esimerkiksi kiinteät asennukset (muun muassa heijastimet, nauhat) eivät sovellu muuttuvaan tehdasympäristöön parhaalla mahdollisella tavalla.

## **Akusto ja lataus**

Laitteen tulisi toimia riittävän suurella käyttöasteella koko työvuoron ajan. Tähän vaikuttaa töiden optimoinnin lisäksi latausnopeus ja akuston kapasiteetti.

## **Reittimuutokset**

Yhtenä tärkeänä kriteerinä on reittimuutokset tuotannon näkökulmasta katsottuna. Kun on tiedossa, että muutosten tekeminen on välttämätöntä jopa useita kertoja vuodessa. On tärkeää, että reittimuutokset voidaan tehdä itsenäisesti ja ennen kaikkea nopeasti.

## **Hinta**

Vihivaunujärjestelmien hintaerot ovat usein suhteellisen pieniä keskenään, jos verrattavat laitteistot ovat samantyyppisiä. Eroja kuitenkin on ja eräs muuttuva kulu on hankintakustannuksen lisäksi käytönaikaiset kustannukset. Hinta ei kuitenkaan ole tässä yhteydessä kovin suuri tekijä.

## **Indikointi (valot/äännet)**

AGV:t on varustettu standardien mukaisilla merkkivaloilla ja -äänillä. Standardi antaa kuitenkin vain yleiset suuntaviivat, mitä AGV:stä pitäisi vähintään osoittaa äänellä ja visuaalisesti. Visuaalisuus on tärkeä osa turvallisuutta.

## Liitettävyys

Liitettävyys heijastaa sitä, miten AGV:n tai AGV:ta ohjaavan järjestelmän saa kiinni muihin järjestelmiin, kuten esimerkiksi WMS-järjestelmään (varastonhallintajärjestelmä), SAP:iin (tuotannonohjausjärjestelmä) tai OPC:hen (avoin tiedonsiirtojärjestelmä).

**Taulukko 5.** Vertailutaulukko AGV-vertailua varten.

Ominaisuus	Painoarvo	Pisteet (1-5)	
		AGV1	AGV2
Nostokapasiteetti	15 %		
Tilantarve	25 %		
Navigointitapa	20 %		
Akusto ja lataus	5 %		
Reittimuutokset	15 %		
Hinta	5 %		
Indikointi (valot/äänet)	5 %		
Liitettävyys	10 %		
Yhteensä	100 %		

### 4.2.1 Solving

Suomalainen Solving tarjoaa räätälöityjä AGV-ratkaisuita teollisuuden tarpeisiin. Vaasan tehtaassa on käytössä kaksi Solving-mobiilialustaa, joten tutkimme heidän trukki tarjontaansa.

Räätälöityjen laitteiden takia emme saaneet demolaitteistoa koekäyttöön. Kävimme kuitenkin katsomassa erästä Solving-vastapainotrukkia teollisuusympäristössä.

Laite kuljetti valmiita pakkauksia lähettämöön. Noutopisteitä oli pari kappaletta ja lähettämöalueella oli useampi vierekkäinen lavapaikka, joihin pakkaukset lajiteltiin jonomuotoon, eli peräkkäin. Laite toimi itsenäisesti. Laite ei ollut vielä liitetty kyseisen tehtaan tuotannonohjausjärjestelmään. Tämä oli tarkoitus tehdä myöhemmin.

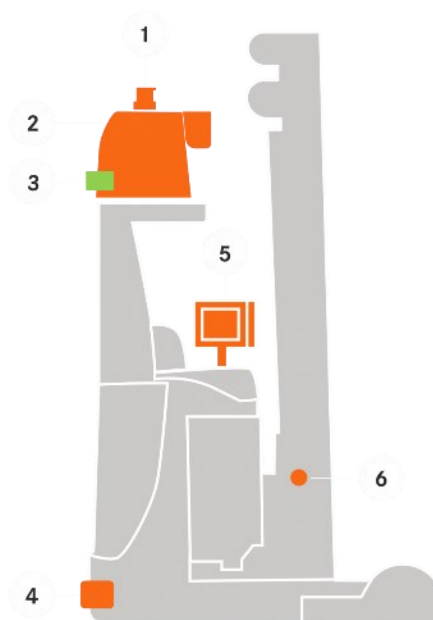
Positiivisena huomiona Solvingissa on se, että heiltä saa lähes sellaisen laitteen kuin asiakas tarvitsee. Kuvassa 30 näkyy Solving-vastapainotrukki.



**Kuva 30.** Solving vastapainotrukki (Solving).

#### 4.2.2 Still

Still on entuudestaan kohdeyrityksen laitetoimittaja, joten tutkimme heidän tarjontaansa AGV-laitteista. Stillin AGV-ratkaisut kulkevat nimellä iGo. Nämä ovat kuitenkin aika uusi aluevaltaus Stillille ja käytännössä laitteet ovat pääosin normaaleita trukkeja, joihin on lisätty erilaisia skannereita ja laitteita. Kuvassa 31 näkyy lisätyt laitteistot; 1.Laser skanneri, 2.Ohjausyksikkö, 3. Valot, 4. Turvalaserskannerit, 5.Käyttöliittymä ja 6.Hätäseispainikkeet. Saatavilla on pinoamisvaunuja, vetotrukkeja, työntömastotrukkeja ja kapean käytävän trukkeja.



**Kuva 31.** Still ([www.still.co.uk](http://www.still.co.uk)).

## Ohjelmisto

iGo insights -ohjelmisto tarjoaa laitteiden hallinnan ja datan keruun. Ohjelmisto pystyy datan avulla parantamaan tehokkuutta, käyttäen hyväksi pilvipalvelussa tapahtuvaa las-  
kentaa. Ohjelmistossa on hyvä liitettävyyttä ERP-järjestelmiin sekä sisäänrakennettu va-  
rastonhallintajärjestelmä. /43/



**Kuva 32.** iGo insights ([www.still.co.uk](http://www.still.co.uk)).

### 4.2.3 Agilox

Agilox ONE on kompakti saksityyppinen pinoamisvaunu (**Kuva 33.**). Heti alkuvaiheessa tuli kuitenkin selväksi, että tämä laite ei sovellu tehtaan tarpeisiin. Laitteen saksinostin estää laitteen käytön hyllyn alla. Laitteen hyviä puolia ovat erittäin pieni koko ja suhteessa siihen hyvä nostokyky. OFC-malli on vastapainotrukki. Tämä merkitsee suurempaa nostokykyä sekä suurempaa nostokorkeutta, mutta myös suurempia fyysisiä mittoja. Toivoimme laitteistoa koekäyttöön, mutta tämä ei valitettavasti onnistunut. /44/



**Kuva 33.** Agilox One ([www.agilox.net](http://www.agilox.net)).

Taulukossa 6 näkyy One:n ja OFC:n päämitat.

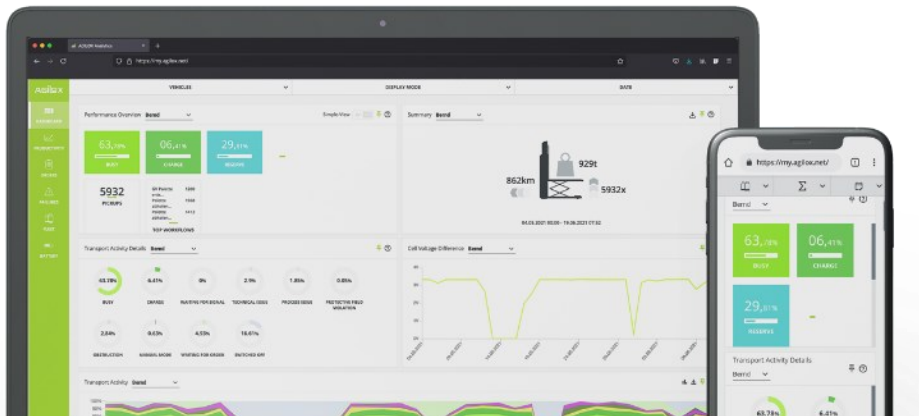
**Taulukko 6.** Agilox

	One	OFC
<b>Laitteen mitat (p x l x k)</b>	1,51 x 0,80 x 1,87 m	2,80 x 1,20 x 2,57 m
<b>Paino</b>	400 Kg	3 680 Kg
<b>Nostokyky</b>	1 000 Kg / 750 Kg	1 500 Kg

<b>Nostokorkeus</b>	0,5 m / 1,0 m	1,6 m
<b>Kääntösäde</b>	2,1 m	3,4 m
<b>Minimi käytävän leveys</b>	1,3 m	1,7 m
<b>Latausaika</b>	3 minuutin lataus = 1 tunti käyttöä	

### Ohjelmisto

Agilox tarjoaa all-in-one ohjelmistoa, joka sisältää kaiken tarpeellisen AGV järjestelmän käyttöönottoon ja käyttöön. Ohjelmistoa käytetään nettiselaimen välityksellä. Kommunikointi tapahtuu langattomasti WLAN:n avulla.



**Kuva 34.** Käyttöliittymä agilox

#### 4.2.4 Toyota

Toyota on maailman suurin trukkivalmistaja. Staxio SAE 160 on vakio-pinoamisvaunusta tehty automatisoitu versio. Pinoamisvaunu sopii lähtökohtaisesti samoihin käyttökohteisiin kuin perinteinen pinoamisvaunu. Toyotalla on muitakin automatisoituja laitteita, esimerkiksi kuljetusvaunut ja vetotrukit. /45/



**Kuva 35.** Staxio SAE 160 (toyota-forklifts.fi)

Laitteen päämitat ja painot näkyvät taulukossa 7. Turvaskannerit laitteen edessä alhaalla tuovat hieman lisää ulkomittoihin verrattuna perinteiseen malliin.

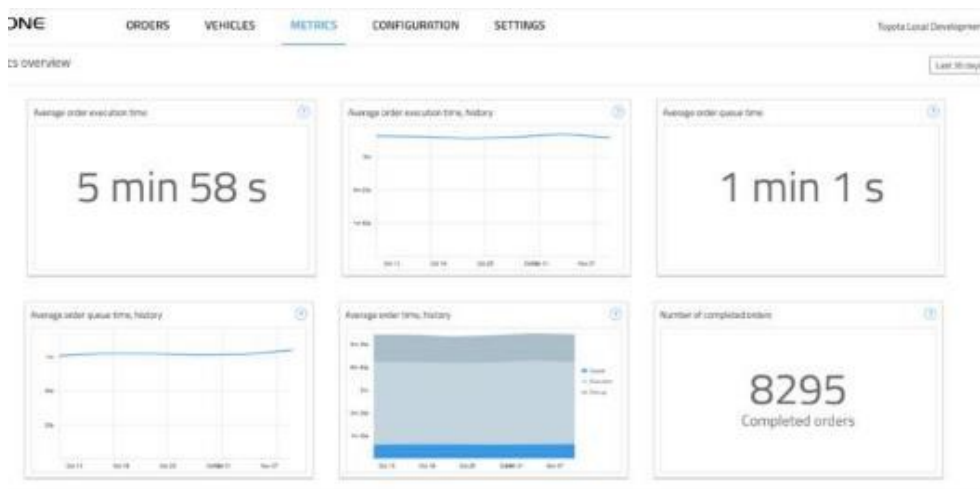
**Taulukko 7.** Toyota SAE160 (Tuote-esite Toyota Forklifts 2022)

Laite	SAE 160
Laitteen mitat (p x l x k)	2,31 x 0,93 x 2,38 m
Laitteen paino	~1 200 kg
Nostokyky	1 600 kg
Nostokorkeus	4,7 m
Minimi käytävän leveys	3,2 m

## Ohjelmisto

Toyotan ohjelmistopaketti kantaa nimeä T-ONE. T-ONE ohjaa AGV-laitteita älykkäästi, esimerkiksi optimoidut lataussyklit ja ajoreitit. Työtilauksia T-ONE:een voi antaa esimerkiksi:

- WMS-järjestelmästä
- Kutsunapeilla (esim painonappi tai tabletilla)
- I/O signaalien kautta (esim robottisolu, palo-ovi, kuljettimet).



**Kuva 36.** T-ONE (toyota-forklifts.fi).

T-ONE tarjoaa myös kattavat KPI mittaristot käyttäjälle.

- Reaaliaikainen tilanneseuranta laitteista
- Laitehistoria, vikakoodit yms.
- Komentojen tilannetieto ja historia.

#### 4.2.5 K. Hartwall

A-Mate on suomalaisen K.Hartwallin valmistama kompakti automaattinen pinoamisvaunu. Laitetta mainostetaan ”1 m & 1 t” eli nostokyky on 1 000 kg yhden metrin korkeudelle. Valmistaja on tosin luvannut, että laitetta voidaan räätälöidä nostamaan 110 cm korkeudelle, jos laitteita tilattaisiin suurempia eriä. A-Matea ohjaa Linux-pohjainen PLC PC, ja koko paketti saa käyttövoimansa 24 V li-ion-akuista.

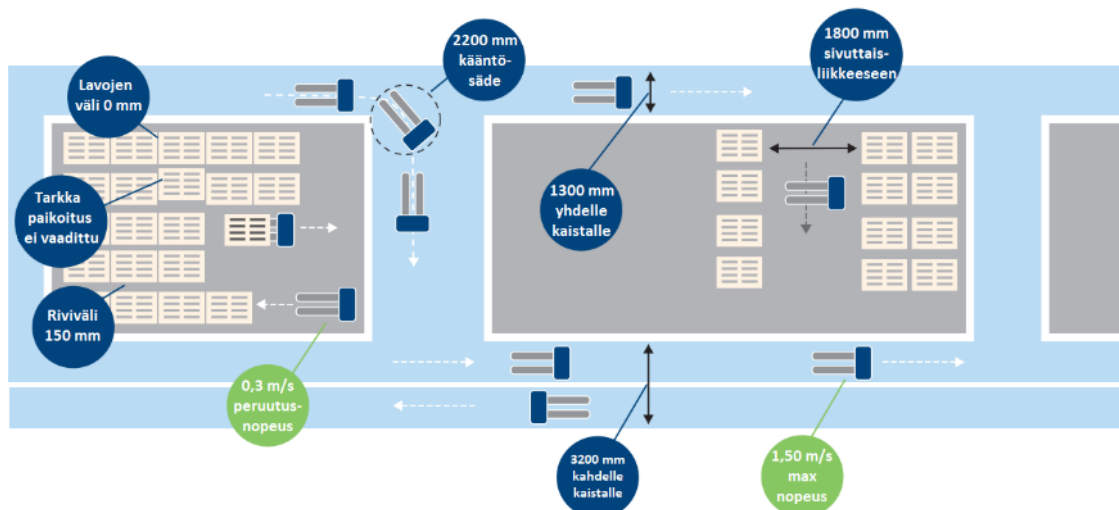


Kuva 37. A-Mate (k-hartwall.com).

Taulukossa 8 näkyy A-Maten mittatiedot.

**Taulukko 8.** A-Mate (k-hartwall.com/automated-guided-vehicles/a-mate).

Laite	A-Mate
Laitteen mitat (p x l x k)	1,63 x 0,80 x 1,95 m
Laitteen paino	690 kg
Nostokyky	1 000 kg
Nostokorkeus	1,0-1,1 m
Kääntösäde	2,2 m
Minimi käytävän leveys	1,3 m
Toiminta-aika	10 h (6 akulla, laajennettavissa 10 akun kokonaisuuteen)
Latausaika	~45 min



**Kuva 38.** A-Maten toiminnallisuuden mittatiedot ja -vaatimukset.

## Ohjelmisto

Navitechin kehittämä ohjelmisto on jaettu useisiin eri ohjelmiin, jotka suorittavat vain sille tarkoitetun tehtävän. Järjestelmä pyörii erikseen toimitettavalla serveri-PC:llä.

- Navitrol Monitor on suoraan yhteydessä yksittäiseen A-Mateen ja tallentaa manuaaliohjauksen aikana tehtävän tasokoordinaatiston ääriviivat ympäristöstä.
- Navithor Tools -ohjelmalla tehdään varsinainen kartta ”nauhoitetun” matkan tietojen perusteella ja viimeistellään halutut ääriviivat
- Navithor Server hoitaa laivueen hallinnan tehtävät, käskyttämisen, navigoinnin, työtehtävien jakamisen, ja niin edelleen.
- Navithor Client on suoraan yhteydessä A-Mateen ja kykenee ohjaamaan manuaalisesti kyseistä A-Matea. Ohjelmasta näkee A-Maten kaikki tiedot reaaliaikaisesti ja muun muassa LiDAR-tutkaimien piirtämät kuvat ympäristöstä, mukaan lukien turva-anturien muodostamat kuvat.
- Navithor Fleet Simulator mahdollistaa vähintään 100 saman aikaisen A-Maten simuloinnin 1-3 kertaisella nopeudella. /46/

#### 4.2.6 Junghenrich

Junghenrichin AGV:t pohjautuvat standarditrukkeihin, jotka on varusteltu automaattisen ajon mahdollistavilla varusteilla. Valikoimissa on muun muassa vastapainotrukit, pinoamisvaunut, veturit ja lavatrukit. /47/



**Kuva 39.** EKS-215a-vastapainotrukki ([www.jungheinrich.com.sg](http://www.jungheinrich.com.sg)).

Taulukossa 9 näkyy EKS-215a-mallin mitat, nostokyky ja nostokorkeus.

**Taulukko 9.** Jungheinrich.

Laite	EKS-215a
Laitteen mitat (p x l x k)	2,49 x 0,9 x 2,59 m
Laitteen paino	3 280 kg
Nostokyky	1 500 kg
Nostokorkeus	6 m
Minimi käytävän leveys	Ei tietoa

## Ohjelmisto

Jungheinrich tarjoaa Fleet management -ohjelmistoa, jota voidaan hallita ja käyttää net-tiselaimen kautta, esimerkiksi matkapuhelimelta. Järjestelmässä on kattavat raportoin-tityökalut. Järjestelmässä on myös näkymä laitteiston huoltotarpeisiin. Järjestelmän in-tegrointi tehtaan ERP-järjestelmään on helppoa.



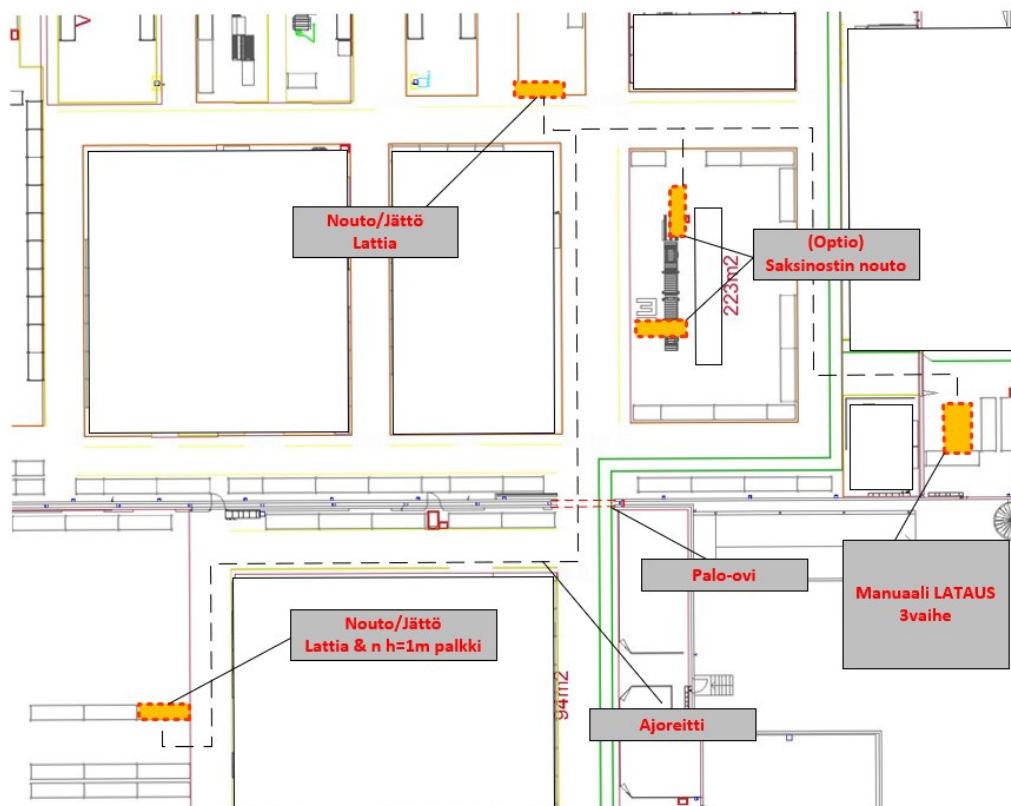
**Kuva 40.** Jungheinrich fleet management -työkalu.

#### 4.2.7 Laitteiston valintapäätös

Toyota ja K.Hartwall päätyivät lopulta testeihin, koska heillä oli laitteita saatavilla koe-käyttöä varten. Positiivista näissä kahdessa laitteessa oli se, että ne ovat selvästi erilaisia eivätkä toistensa kopioita. Tällä saataisiin käytännön testeihin lisää kokemusta ja ymmärrystä erilaisista laitteista.

#### 4.3 Koeajojen suunnittelu

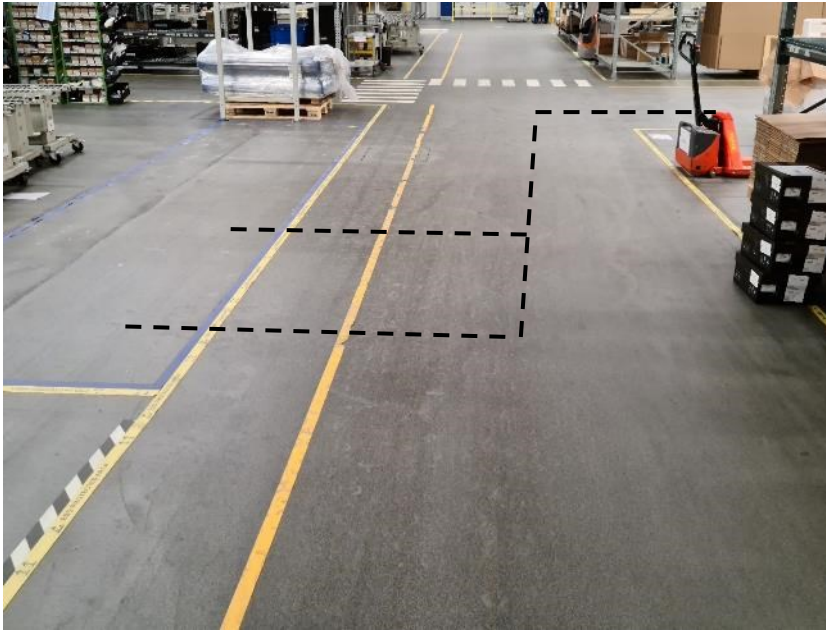
Koeajo reitiksi valikoitui reitti, joka oli valmiiksi pääosin vapaa. Reitti pääosin vastaa valmiin paketoitun tuotteen siirtoa lähettämöalueelle. Reitillä on noutoalue, johon mahtuu viisi (5) kappaletta EUR-lavoja sekä jättöalue, jossa on neljä (4) lavapaikkaa lattiata-sossa ja neljä (4) lavapaikkaa hyllyssä. Reitin varrella on myös palo-ovi ja saksinostin, jota voitaisiin kokeilla käytännön testeillä. Kuvassa 41 näkyy mustalla katkoviivalla ajoreitit sekä nouto/hakupaikkoja. Laitedemon toimittajille jaettiin pohjakartta etukäteen, mahdollista esisuunnittelua varten.



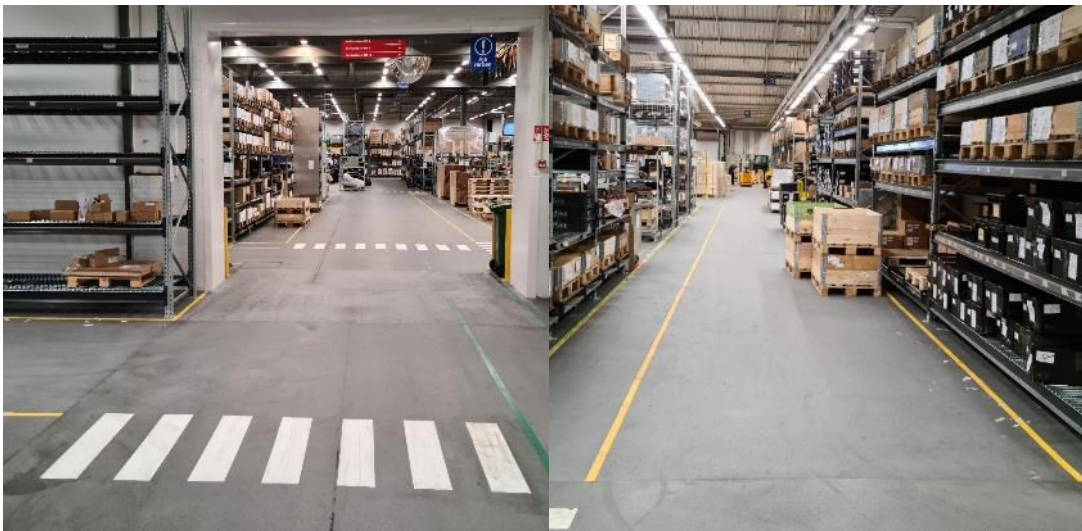
Kuva 41. Reittisuunnitelma.

Vihivaunut vaativat latausta. Reitin läheisyydestä löytyi 3-vaihepistoke laitteen latausta varten. Tarkoitus olisi myös tehdä latauspisteestä aloituspiste laitteistolle, kun sitä aletaan määrittämään.

Noutoalueen läheisyydessä oli väliaikainen varastointitila komponenttilaatikoille. Laatikot olivat kuvan 42 oikeassa alareunassa. Nämä siivottiin pois edestä. Noutoalueelle asetettiin valmiiksi kuormalavoja sekä tuotepaketteja noutoja varten.



**Kuva 42.** Noutoalue.



**Kuva 43.** palo-oviaukko pääkäytävällä ja välikäytävä.

Kuvassa 43 näkyy reitin varrella oleva palo-oven kohta. Palo-ovi sulkeutuu automaattisesti palohälytyksen sattuessa. Oikealla kuvassa olevalla välikäytävällä säilytettiin lavoja. Käytävä tyhjennettiin ylimääräisestä tavarasta demoa varten.



**Kuva 44.** Jättöalue.

Jättöalueella hyllystä poistettiin lavat ensimmäisestä hyllyväliköstä. Jouduimme myös laskea alimman palkin korkeutta 1 metriin (**Kuva 44.**), jotta voisimme todentaa molempien AGV-laitteiden nostoliikkeet. Jättöalueen käytävän hyllyväli on noin 3 metriä.

## 5 KOEKÄYTTÖ

### 5.1 Osittainen riskiarviointi

Ennen käyttöönottoa laitteille tehtiin toimittajan kanssa riskiarvio. Koska laite on vain koekäytössä, riskiarviointi oli huomattavasti kevyempi kuin normaalisti. Danfossilla käytetään riskeille pisteytystä 1–20. Jos riski arvioidaan niin, että kokonaispisteet ovat 12–13 välillä pitää korjaavia toimenpiteitä harkita vakavasti. Pisteet välillä 14–20 vaativat välittömiä toimenpiteitä riskin pienentämiseksi. Riskiarvioinnissa otettiin huomioon korjaavia toimenpiteitä vaaranpaikoissa. Arvioinnissa suurin pistemäärä oli 11, joten pysyimme aloittamaan koekäytöt laitteiston kanssa.

Arvioinnissa eräs kohde, palo-ovi, aiheutti enemmän keskustelua. Jos laite jää palo-oven kohdalle tulipalon alkamisen aikana eikä liiku syystä tai toisesta. Todennäköisyys näiden tapahtumien yhtäaikaaisuudelle on hyvin pieni. Toimenpiteeksi kirjasimme laitteen työntämisen toisella pinoamisvaunulla tai käsin työntämällä pois edestä. Liitteessä 1. näkyy AGV-laitteiston riskipaikkoja. Esimerkiksi ”Kuorma tippuu laitteen kyydistä” johon toimenpiteeksi nähtiin ”valvotaan laitteistoa, jota ajetaan tarpeeksi hitaasti eikä siirrellä raskaita kuormia sekä informoidaan työntekijöitä laitteesta”.

Riskikartoituksen perusteella muun muassa informoimme tehtaan henkilöstöä lisäämällä intranettiin uutisen tulevasta koeajosta automaattisella laitteistolla.

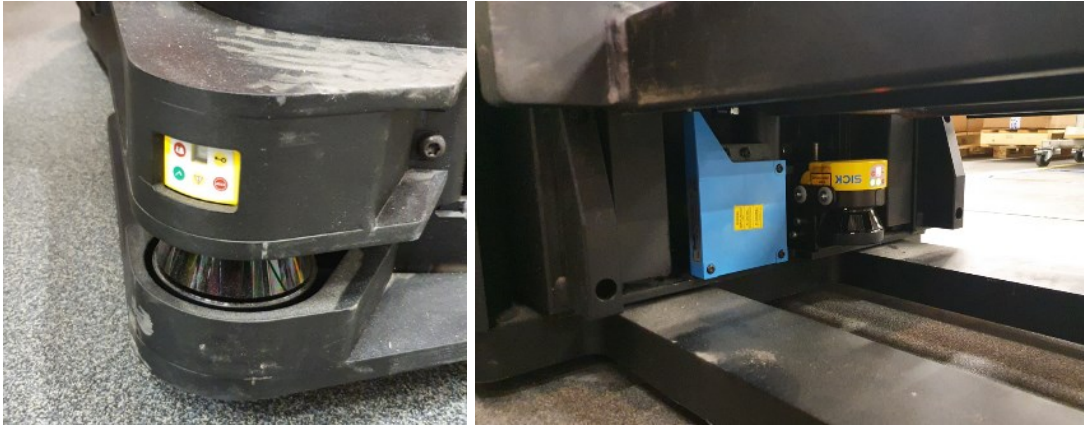
### 5.2 Toyota SAE-160 Staxio

TMHFI (Toyota Material Handling Finland) hallussa oli yksi oma laite, jota he tarjosivat demokäyttöön. Laite valikoitui demokäyttöön lähinnä myös siksi, että se oli projektin aikatauluun sopiva. Demon hintaluokka oli noin 6 000 €. Laite oli koekäytössä 4 vuorokautta vuoden 2022 keväällä.

#### 5.2.1 Ominaisuudet

Laitteen mittatiedot on kuvattu kappaleessa 4.2.4. Tässä kappaleessa on laitteen automaattisen ajon mahdollistavat pääominaisuudet lähitarkastelussa.

Laitteessa on vakiona turvaskannerit molemmissa etualakulmissa ja lisäksi lisävarusteena yksi takana (**Kuva 45.**). Turvaskannerit on kytketty turvareleen kautta laitteen turvapiiriin. Alhaalla olevat turvaskannerit havaitsevat esteet noin 15 cm korkeudella. Takaskanneri mahdollistaa nopeamman liikkeen taaksepäin, koska se havaitsee takana olevat esteet luotettavammin, kuin edessä olevat skannerit. Turvaskannerit ovat mallia SICK S300 Mini.



**Kuva 45.** Etuskanneri ja takaskanneri.

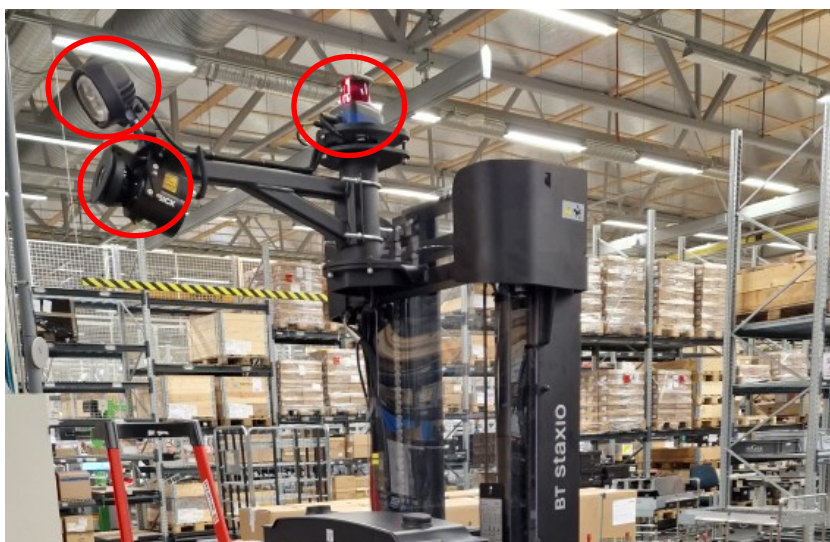
Etäisyysanturit (laser malli SICK DS35) sijaitsevat nostohaarukoiden juuressa. Anturit mittaavat etäisyyden kuormaan. Anturit aktivoituvat esimerkiksi sellaisessa tilanteessa, jossa kuorma putoaa tai liikahtaa. Antureiden sijoittelu on hyvä, eli ne ovat tarpeeksi piilossa suojattuna iskuilta ja kuitenkin havaitsevat kohteet riittävästi.



**Kuva 46.** Etäisyysanturit ja haarukka-anturit.

Haarukoiden päässä olevat anturit tunnistavat kuormalavan alla olevia esteitä. Anturit pitäisi pysäyttää laitteen myös, jos esimerkiksi ihminen kävelee laitteen eteen nostolanteessa.

Laitteen alaosassa sijaitsevat henkilöturvasuuteen liittyvät sensorit eivät havaitse korkealla olevia esteitä. Korkealla olevat esteet havaitaan Sick S100 -yläanturilla. Anturi on asennettu noin 30 asteen kulmaan. Anturin yläpuolella oleva sininen BlueSpot-kohdevalo on vastaava kuin perinteisissä trukeissa. Laitteen päällä on Pepper+Fuchs 2D LiDAR-anturi, jonka avulla laite navigoi (**Kuva 47.**). Navigointi tapahtuu mittaamalla etäisyyttä heijastimiin.



**Kuva 47.** Tunnistin, huomiovalo ja LiDAR-navigointiskanneri.

Käyttökahvan takana laitteessa on ohjauslaatikko, joka sisältää Kollmorgenin NDC8-ohjausyksikön sekä SICK-turvareleet (**Kuva 48.**). Ohjauslaatikon sivulla on liitäntä PC:n kytkemistä varten, sekä valkoinen sallintapainike automaattiajolle. Hätäseispainikkeet (3 kpl) ja oranssit suuntavilkut ovat myös laatikossa. Laatikossa on myös ohjausyksikön käyttöpaneeli (HMI).



**Kuva 48.** Ohjauslaatikko ja käsiajon ohjainkahva.

Laitteistotoimitukseen kuuluu myös latausyksikkö. Laitteen lataus tapahtuu laitteen vasemmassa reunassa olevien kontaktien kautta (**Kuva 49.**). Demossa käytettiin manuaalista latausta, johon kuuluu laturi johtoineen. Latausjohto kytketään kontaktipintojen yläpuolella olevaan liittimeen. Laturi vaatii 16 A 3-vaiheisen syötön. Latausvirta on noin 200 A, joka tarkoittaa, että laitteen litium akun latautuvat täyteen noin tunnissa. Normaalissa toimituksessa laturin lisänä tulee kontaktipintojen vastinpari, teline, johon laturin johto kytketään. Tämä järjestely mahdollistaa automaattisen latauksen. Automaattikäytöllä laite ohjautuu lataukseen viimeistään, kun akun varausta on jäljellä 20 %. Täydet akut kestävät noin 8 h käytön. Noin 10 minuutin lataus / tunti riittää jatkuvan käyttöön.

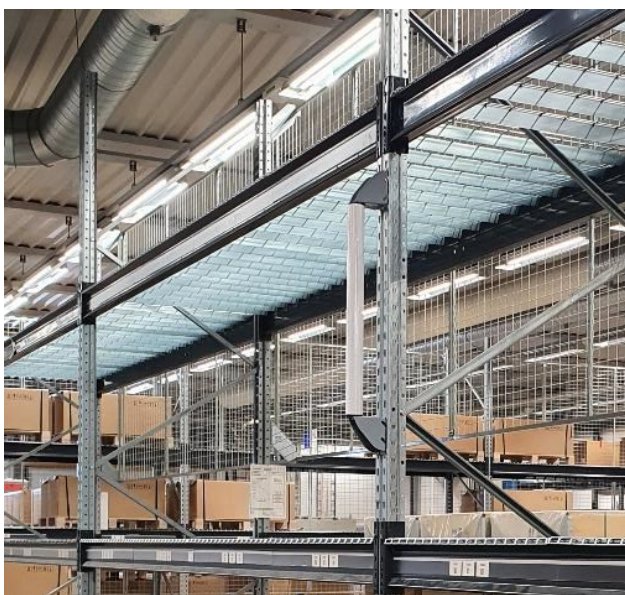


**Kuva 49.** Latausliittimet laitteessa ja laturi.

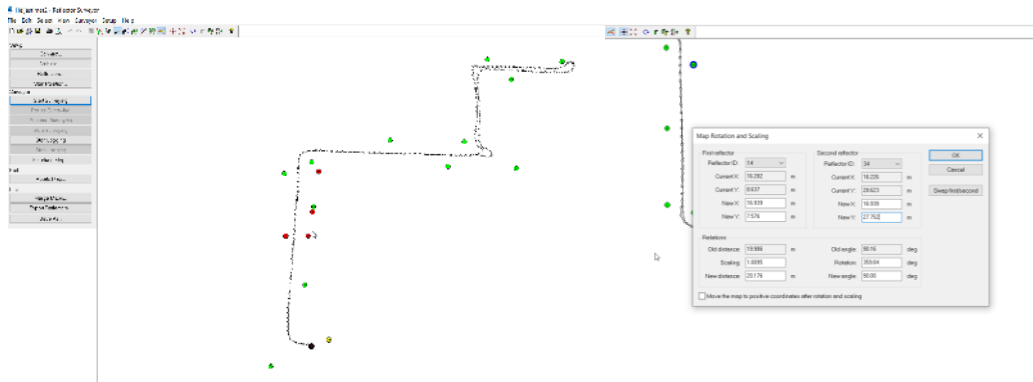
## 5.2.2 Käyttöönotto

Laitte saapui tehtaalle ilman erillistä pakettia, kuten trukit useimmiten. Laitteen mukana oli ainoastaan laturi. Laitetta oli helppo kokemattomankin henkilön liikutella perinteisellä ohjainkahvalla ennen varsinaista käyttöönottoa. Laitteelle käskyjä välitetään palvelimen kautta C-way -ohjelmistopakettilla. Palvelin ja C-Way -ohjelmisto olivat Toyotan käyttöönotto-insinöörin kannettavalla tietokoneella. Tietokoneella luotiin langaton wifi-verkko ja kommunikointi trukin ohjainyksikön kanssa onnistui tämän verkon välityksellä. Tietokoneella olevan langattoman verkon takia, tietokonetta täytyi kuljettaa laitteen lähistöllä. Tämä ei testin kannalta ollut merkitsevä haitta, koska laitteen toimintaa piti joka tapauksessa valvoa.

Ensimmäisenä suunnitellulle koeajoreitille asennettiin heijastimet. Heijastimina käytettiin sylinterimallisia heijastimia, jotka asennettiin noin 2 metrin korkeudelle. Heijastimet tulee asentaa niin, että automaattitrukin LiDAR-skannerilla olisi aina näkymä kolmeen heijastimeen. Sylinterimuoto (**Kuva 50.**) antaa vapausasteita heijastimen sijoitteluun, koska tutka havaitsee sen lähes joka suunnasta, mikäli fyysisiä esteitä ei ole. Laitte ajettiin manuaalijolla suunnitellun reitin mukaisesti. Heijastinpositiot tallennettiin Reflector Surveyor -ohjelmaan. Kuvassa 51 näkyy sinisellä viivalla reitti ja vihreät ympyrät ovat heijastimia. Punaiset ympyrät ovat heijastumia kiitävistä pinnoista.



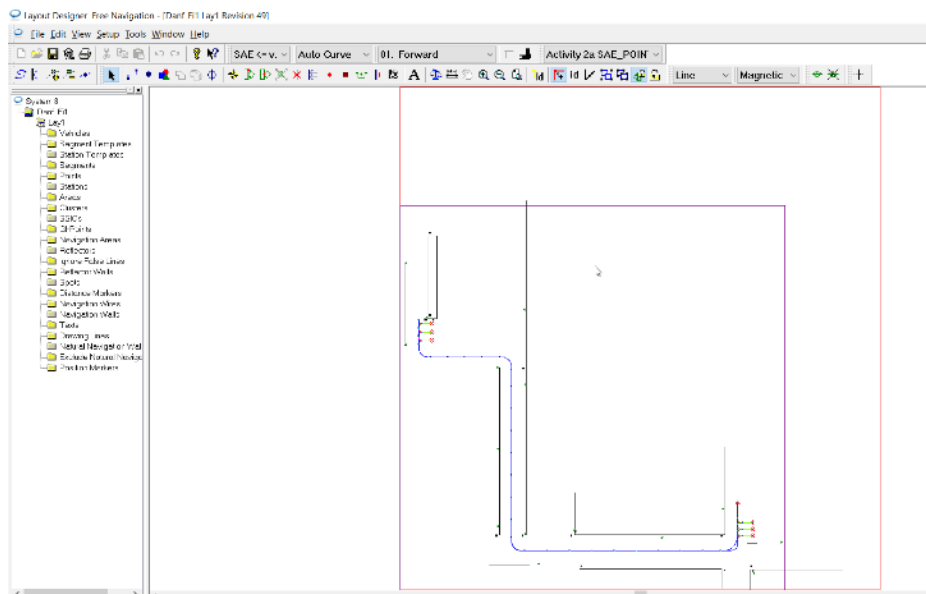
**Kuva 50.** Heijastin kiinnitettynä kuormalavahyllyyn.



**Kuva 51.** Heijastimien paikat ohjelmassa ja heijastinkartan muokkausta.

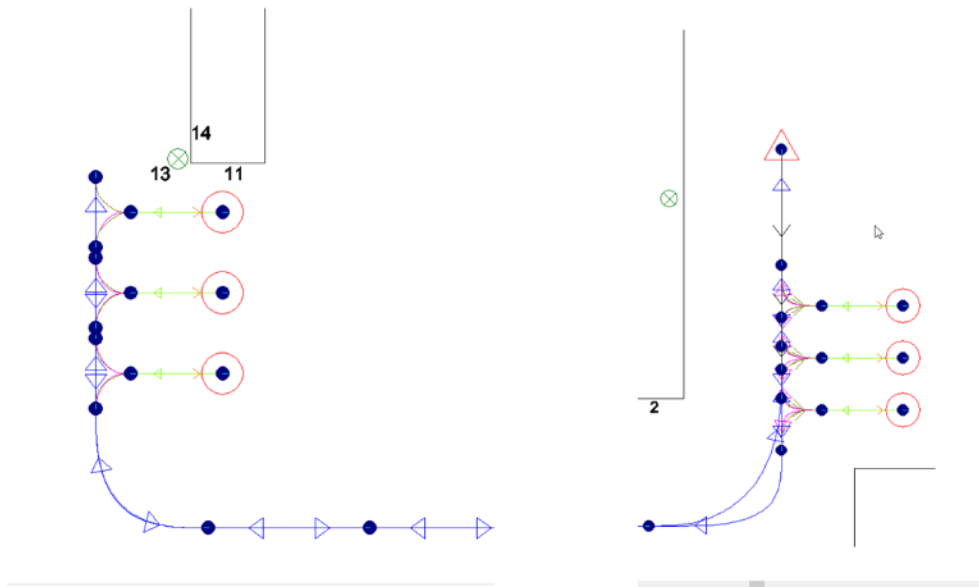
Käisajon jälkeen heijastinkartta siistittiin ohjelmassa. Tutka tunnistaa useita kiiltäviä pintoja tuotannosta. Ylimääräiset heijastukset poistettiin ja kartta skaalattiin ja suoristettiin. Toyotan käyttöönottoinsinöörin mukaan laitteen navigointitutka tunnistaa heijastimia jopa 100 metriin asti.

Valmis heijastinkartta tuotiin Layout Designer -ohjelmaan. Ohjelmassa reitti piirrettiin käsin hyödyntäen heijastinpisteitä paikkatietona. Tämän jälkeen ohjelmassa määriteltiin nouto- ja hakupisteet. Nämä lisättiin kartalle ajamalla laite lähelle suunniteltua pistettä ja mittaamalla tehtaan lattialla etäisyys pisteeseen. Ohjelmassa olevat ”hyllyviivat” oli otettu etukäteen tehtaan pohjakuvasta, eivätkä perustuneet mittauksiin (**Kuva 52.**).



**Kuva 52.** Layout Designer.

Kun yksi nouto- ja hakupiste oli määritelty, pisteestä tehtiin kopioita haluttu määrä. Kun kaikki paikkamääritykset tietokoneella oli tehty, tiedot synkronoitiin laitteen ohjausyksikköön kaapelin välityksellä. Kuvassa 53 näkyy oikealla kolme määriteltyä noutopistettä ja lepopiste (kolmio) kun tehtäviä ei laitteelle ole. Useimmiten lepopiste on latausasema, mutta koekäytössä latausasema ei ollut laitteen reitillä. Kuvassa vasemmalla on kolme vientipistettä lattiatasossa ja kolme ylätasossa. Hyllyvälissä oli tilaa neljälle kuormalavalle, mutta tilanpuutteen takia tähän kohtaan laitettiin kolme paikkaa.

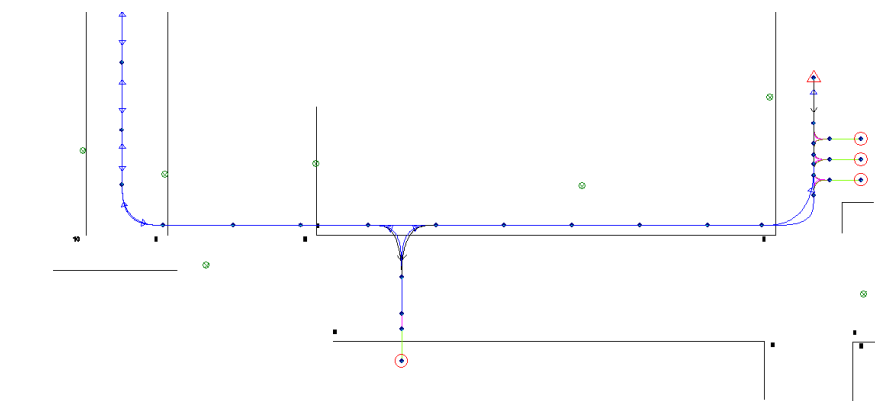


**Kuva 53.** Valmiit nouto- ja vientipisteet ohjelmassa.

### 5.2.3 Koekäyttö

Koska koeajojärjestelmää ei ollut kytketty tehtaan IT-järjestelmiin, C-Way -ohjelmistolla annettiin käskyt kannettavalta tietokoneelta käsin. Annetut käskyt olivat esimerkiksi nouta paikasta 03 ja vie paikkaan 11. Näitä komentoja voidaan ajaa ohjelmistoon johon. Kun automaattiajo sallitaan laitteelle, laite suorittaa kaikki annetut tehtävät kronologisessa järjestyksessä. Automaattiajo pitää sallia laitteelle pitämällä ohjainyksikön (A) nappia painettuna parin sekunnin ajan, jonka jälkeen laite alkaa toimia itsenäisesti.

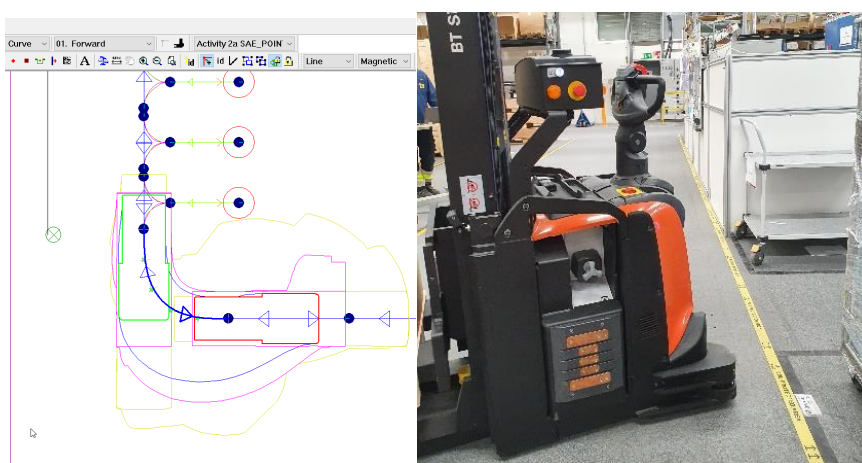
Koekäytön aikana reitille lisättiin hakupiste saksinostimelta. Hakupiste näkyy kuvassa 54 keskellä. Hakupisteen lisäämistä varten otimme mitan lähimmästä heijastimesta saksinostimeen, jonka perusteella piste lisättiin karttaohjelmaan. Poiminta saksinostimelta toimi hyvin parin harjoituskerran jälkeen, joiden aikana paikoitusta hiukan säädettiin.



**Kuva 54.** Saksinostin hakupiste.

Koeajon aikana nopeuksiin ja kääntökulmiin tehtiin muutoksia. Toissijaiset käytävät riittivät juuri ja juuri laitteen vaatiman vähimmäistilarpeen. Yläskanneri jouduttiin poistamaan käytöstä paikoissa, joissa oli pienin tila käytettävissä.

Kuvassa 55 näkyy ohjelmassa turvaskannereiden näkemät alueet jättöpaikan mutkassa sekä laitteen todellinen paikka tehdastiloissa. Ohjelmassa laite on merkitty punaisella ääriiviivalla. Tässä käänöksessä tila riitti juuri ja juuri käänöksen tekemiseen. Tilanpuutteen takia laite joutui ajamaan ryömintänopeudella (0,1 m/s).

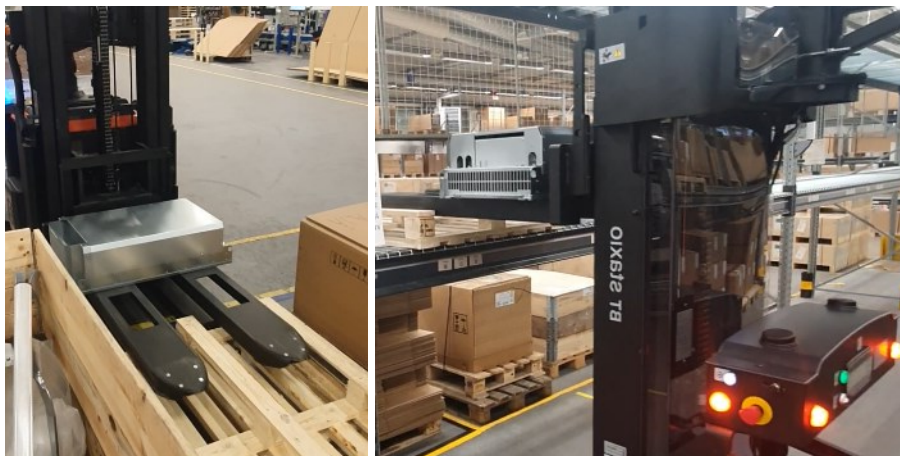


**Kuva 55.** Toyota käänökohdan ohjelmistonäkymä ja todellinen tilanne.

Kuormalavojen poiminnat ja siirrot lattialta onnistuivat hyvin. Tässä piti kuitenkin huomioida lavojen paikoitus, lava pitää olla parin kolmen sentin tarkkuudella määritellyssä paikassa. Merkitsimme lavapaikat teipillä, jotta lavojen käsin asemointi helpottuisi.

Turvallisuus näkökulmasta teimme muutamia testejä. Kokeilimme, pysähtyykö laite, jos noutotilanteessa esimerkiksi ihminen joutuisi laitteen ja kuorman väliin. Trukkipiikkien anturit toimivat odotetusti, pysäyttäen laitteen. Testasimme myös alhaalla olevien turvaskannereiden toimintaa. Tässä havaitsimme, että laite kulkee melko läheltä kohdetta oletusasetuksilla, noin 10 cm. Ylhäällä oleva laserskanneri toimi odotetusti, pysäyttäen laitteen hyvin nopeasti. Yläskannerin asennuskulma oli sopiva.

Puolivalmiin tuotteen siirtoa varten asetettiin kuormalava lattialle ja toinen lava ylösalaisin toisen edellisen päälle (**Kuva 56.**). Tämän päälle asetettiin itse noudettava tuote. Samanlainen lavarakenne laitettiin myös päätepiesteeseen. Puolivalmiin tuotteen haussa käytettiin apuna keskellä olevaa kuormantunnistusanturia, jonka asetusarvoon asetettiin tietty mitta, niin että tuote jää haluttuun kohtaan nostohaarukoilla (tässä tapauksessa noin 5 cm haarukoiden juuresta). Nouto ja jätto onnistuivat suunnitellusti.



**Kuva 56.** Puolivalmiin tuotteen nouto ja jätto.

Toyotan oranssit merkkivalot (4 kpl) välkyivät nostoissa ja laskuissa. Käännöksissä reitillä vilkkuivat joko oikean tai vasemman puolen valot riippuen kumpaan suuntaan laite oli kääntymässä. Laitteessa oli myös perinteinen piippausääntä pitävä äänimerkki.

#### 5.2.4 Lisähavainnot

Toyotalta oli tuotannossa jo tämän laitteen ”rev3”, jossa on päivitetty ohjausyksikkö ja paremmat turvaskannerit. Nämä yhdessä mahdollistavat paremman navigoinnin ahtaissa tiloissa. Uudemmassa ohjausyksikössä on myös 5 Ghz WiFi, 2,4 GHz sijaan.

Toyotan mainostama T-ONE-ohjelmistopaketti jäi valitettavasti testien yhteydessä kokeilematta. T-ONE -ohjelmassa on sisään rakennettu kevytversio varastohallintaohjelmistosta (WMS), joka voi toimia itsenäisesti ja on näin ollen nopea ja helppo ottaa käyttöön. Kevytversio voisi Toyotan mukaan toimia hyvin esimerkiksi yhdellä tuotantolinjalla ilman monimutkaista kokotehtaan kattavaa varastohallintajärjestelmää.

Hinta-arvio AGV-järjestelmälle, joka sisältää kolme trukkia olisi ollut noin 400 000 €.

Toyota mainosti myös kokonaan uutta kompaktia AGV-pinoamisvaunua, joka on tulossa parin vuoden kuluttua markkinoille. Jäämme odottamaan mitä uutta edellä mainittu laite tuo.

### 5.3 K.Hartwall A-Mate

Kyseessä oleva laite oli laitetoimittajan (Avertas) ensimmäinen, jota olivat kerenneet ajamaan pari päivää, joten demon aikana piti alkaa säätämään perusasioita, kuten sensoreita, yms. Laite oli kokeilussa 4 päivän ajan keväällä 2022.

#### 5.3.1 Ominaisuudet

##### Yleisesti

Perustiedot laitteesta löytyvät kappaleesta 4.2.5.

##### Omnidrive

Omnidrive on A-Maten yksi merkittävimmistä teknologioista. Sen lisäksi, että vetopyörät kääntyvät, kääntyvät myös haarukoihin sijoitetut renkaat, joissa toisessa on myös moottorit. Tämä mahdollistaa AGV:n liikkumisen sivuttain tai hienovaraisen kulman muutoksen esimerkiksi vinossa olevaa lavaa hakiessa. Valmistaja ei kuitenkaan suosittele, että ominaisuutta käytettäisiin kohtuuttomasti jokaisessa tilanteessa. Suositus on, että

kuorma pyrittäisiin siirtämään perinteisen pinoamisvaunun liikeratojen kaltaisesti, koska renkaat rasittuvat merkittävästi enemmän, silloin kun niiden kulkusuuntaa muutetaan AGV:n ollessa paikalla täydessä kuormassa.

### Turvallisuus

A-Matessa on käytännössä jatkuva 360 asteen turva-alueen skannaus. Turva-anturit on sijoitettu noin nilkan korkeudelle.



**Kuva 57.** A-Maten takaturva-anturin sijainti.

Anturien skannausalueet on jaettu segmentteihin, joiden kulma ja etäisyys vaihtelevat menosuunnan ja nopeuden mukaan. Turva-anturit eivät tarkkaile jatkuvasti joka suuntaan, vaan yleisesti ottaen vain menosuuntaan päin. Esim. suoraan kulkiessaan A-Maten vieressä voi kävellä hyvinkin lähellä, koska ei ole syytä tarkkailla vieressä tai takaviistossa olevia objekteja. A-Mate ei jarruta esteen havaitessaan heti, vaan alkaa ensin hidastamaan ja lopuksi jarruttaa, jos este on liian lähellä. Ilman segmentoituja turva-alueita AGV jarruttelisi ja hidastaisi nopeuttaa ahtaissa mutkissa, vaikkeivat esteet olisi suoraan kulkuväylällä. A-Mateen voidaan myös ohjelmoida haetun lavan koko, jolloin turva-anturit huomioivat laajemmalla alueella esteitä, jotka saattaisivat osua tavallista suurempaan lavaan.



**Kuva 58.** A-Maten hätäseis-painikkeiden sijainti.

Hätäseis-painikkeita on kolme, joista kaksi on etupuolella ja yksi nostohaarukoiden puolella (**Kuva 58.**). Painikkeet olivat helposti painettavissa.



**Kuva 59.** Anturit A-Matessa.

Lisäksi testatussa A-Matessa oli alaviistoon asennettu LiDAR (ympyröity kuvassa 59), joka varmistaa, ettei A-Maten menosuunnassa ole lattiatasoa korkeammalla esteitä, kuten henkilönostimen kori. Huomioitavaa on, että kyseessä on lisävaruste eikä se ole virallisesti luokiteltu turva-anturiksi.

### **Navigointi- ja paikoitusanturit.**

Kahden turva-anturin ja menosuunnan esteiden havaitsemiseen tarkoitettun anturin lisäksi A-Matesta löytyy varsinaiseen navigointiin tarkoitettu LiDAR, joka näkyy kuvassa 59. Toinen asemointiin liittyvä anturi löytyy nostohaarukoiden välistä (**Kuva 60.**). Kyseisen LiDARin tehtävä on tunnistaa lavan käsittelyaukot, niiden esteettömyys ja lavan asento. Lisäksi nostohaarukoiden juurissa on kaksi laser-etäisyysanturi, jotka mittaavat lavan etäisyyttä A-Maten rungosta. Näiden tarkoitus on pysäyttää liike, mikäli lavan etäisyys muuttuu. Näin käy yleensä silloin kun lavaa ollaan laittamassa hyllyyn ja vastaan tulee jokin este. Vaihtoehtoisesti lavaa ollaan laittamassa liian syvälle hyllyyn ja lavaa vastaa seinään.



**Kuva 60.** lavan tunnistus -LiDAR (keskellä) sekä kaksi laser-etäisyysanturia.

### **Ääni- ja valomerkit**

Äänien ja valojen toiminta on täysin räätälöitävissä. Ääni on tavallinen summeri, mutta valoindikointia on ajateltu enemmän. Perinteisen kulkusuuntaan suunnatun Blue Spot LED -lampun lisäksi A-Matessa on useita merkkivaloja, jotka näkyvät suurimmaksi osaksi joka suuntaan.

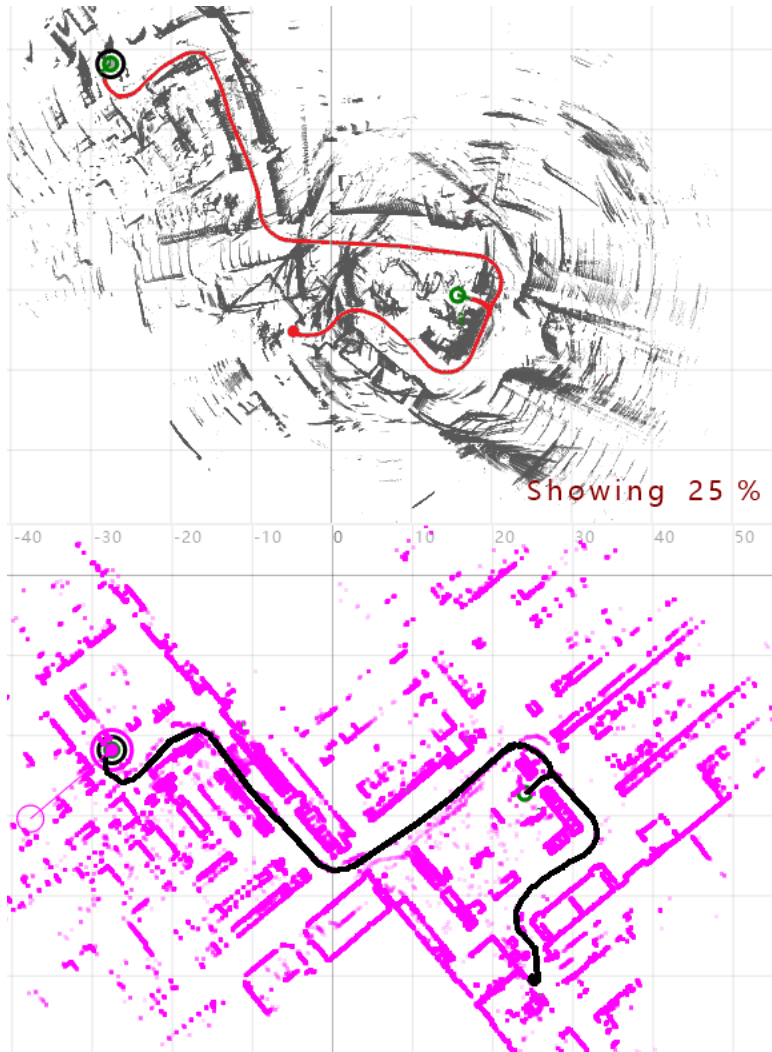


**Kuva 61.** A-Maten merkkivalot.

Valot ovat esimerkiksi siniset eteenpäin kulkiessa – kuten Blue Spot LED. Alaosan valomerkit kertovat mm. nuolin, mihin suuntaan kuormaa olla nostamassa tai laskiessa. Samaten väri ja symboli muuttuu, kun lavaa haetaan hyllystä.

### 5.3.2 Käyttöönotto

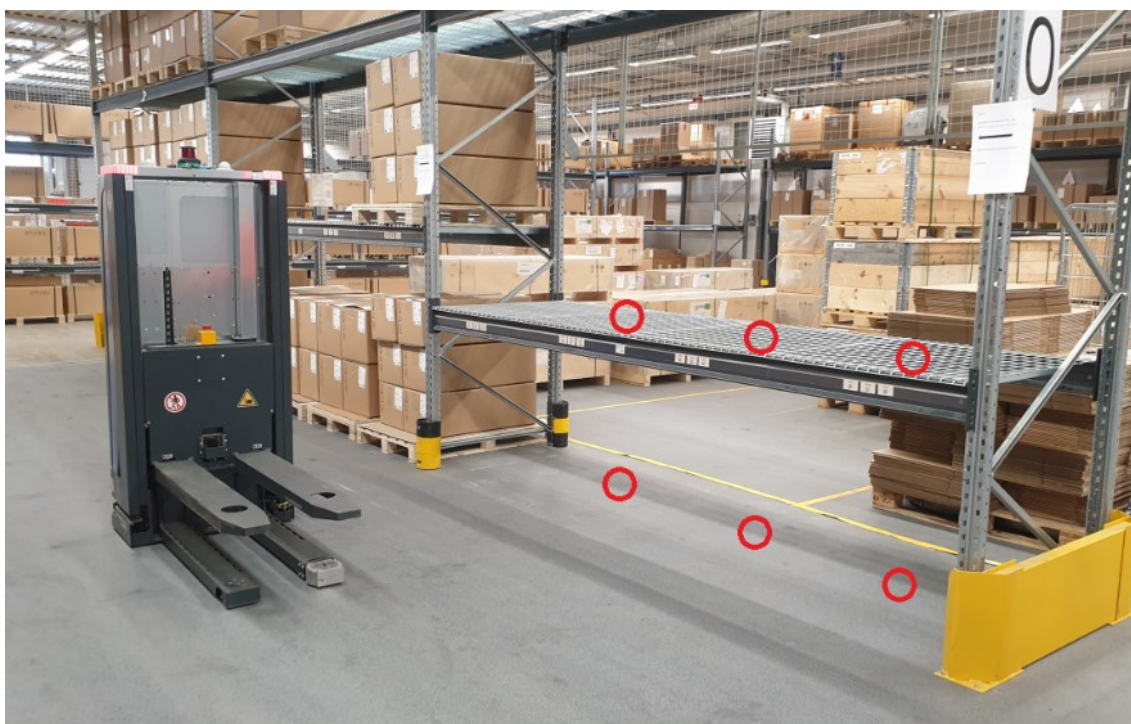
Käyttöönottoa varten piti ensin pystyttää pieni paikallinen WIFI-verkko, jonka kautta Navitechin ohjelmistot olivat reaaliaikaisessa yhteydessä A-Mateen. Lisäksi tehtiin pieni latauspiste AGV:lle, josta lähdettiin liikkeelle, jotta A-Mate osaisi ajaa myös takaisin latausalueelle. Pohjapiirustuksen skannausta varten koko kulkureitti piti ajaa läpi käsin, jonka aikana saatiin karkea pistekartta reitin varrelta.



**Kuva 62.** Pohjapiirustus ennen ja jälkeen algoritmin käsittelyä.

Kun karkea luonnos oli saatu aikaiseksi, Navitechin ohjelmisto korjasi vääristymät, jolloin saatiin aikaiseksi todenmukainen pohjapiirustuksen (**Kuva 62.**). Tämän jälkeen karttaa muokattiin vielä käsin, koska suurinta osaa pistekartan datasta ei oikeasti tarvita. Samalla siivotaan häiriöt pois, esimerkiksi pisteet, jotka ovat kartalla seinän sisällä, mutta ovat oikeasti heijastuneet vastakkaiselta puolelta kiiltävästä pinnasta.





**Kuva 64.** A-Mate ja lavojen jättöpaikat kahdessa tasossa.

Samoin piti hioa asettelusyvyyttä X-akselin suhteen, sillä ensimmäinen lavan tuonti tyyntä virheeseen, jossa lava oli liikahtanut kuvan 60 laser-etäisyysanturien mukaan. Asia selvittäessä huomattiin lavan päädyn vastanneen kuvan 66 metalliseen turvaverkkoon, johon tuli lommo. Myös edellä mainitun kuvan oikeassa laidassa olevat jättöpaikat piti ottaa huomioon A-Maten navigoinnissa, sillä ilman takaturva-anturin pois päältä kytkemistä A-Mate ei suostunut jättämään lavaa hyllyyn tai lattialle, koska takaturva-anturi oletti pystypalkkien ja palkkisuojien olevan ihmisen jalat. Navigointitarkkuuden toleransseja piti myös muuttaa sallivammaksi, sillä A-Mate hukkasi sijaintinsa hetkellisesti ajaessaan lattiassa olevan sauman yli, jolloin AVG:n korkeimpaan kohtaan sijoitettu LiDAR heilahti. A-Mate pysähtyi, mutta jatkoi matkaansa normaalisti hetken kuluttua.



**Kuva 65.** A-Mate ja Solvingin mobiilialusta konfliktitilanteessa.

Koska samalla ajoreitillä kulki lyhyellä matkalla myös toisen valmistajan AGV (Solving), niin koeajon aikana todistettiin konfliktitilannetta, jossa molemmat AGV:t joutuivat pysähtymään. Kuvan 65 mukaiset tilanteet ratkaistaisiin molempien valmistajien omissa hallintaohjelmistoissa kertomalla toiselle AGV:lle, jos kulkureitti on ns. ”varattu”, jolloin AGV odottaisi vuoroaan. Toinen vaihtoehto on siirtyä hallintaohjelmistoon, joka kykenee ohjaamaan molempia AGV:eita (esimerkiksi WAKU).

Ainut potentiaalinen riskikohde oli tilanne, jossa ihminen olisi voinut jäädä saksinostimen toiseen haarukkaväistöön, jolloin takaturva-anturi on pois päältä eikä piikkien yllä AGV:n takahätäseis-painikkeelle.

Navigointitarkkuus ja -toistettavuus olivat erittäin hyviä. Koeajoja ajettiin edes takaisin noin 25 kertaa, jonka aikana ei huomattu silmämääräisesti minkäänlaista ajelehtimistä ajoreiteissä. Saksinostimesta haettiin lava noin kymmenen kertaa eivätkä nostohaarukat koskaan vastanneet saksinostimen nostotasoon, vaikka tilaa oli nostohaarukoiden molemmin puolin 5-8 mm. Lavoja hakiessa lavan paikoitus oli jonkin verran vapaampaa, koska A-Mate kykenee tunnistamaan lavan asennon ja sen mukaan muuttamaan tulo kulmaansa. Omnidrivea ei välttämättä tarvita edellä mainittuun korjausliikkeeseen, mutta se helpottaa sitä huomattavasti.

Vaikka lasernavigointi on häiriöaltis kaaottisille ympäristöille, niin vierestä ajavat isomat pinoamisvaunut, joiden lavat peittivät navigointianturin näkyvyydestä hetkellisesti jopa 60 astetta, eivät vaikuttaneet mitenkään A-Maten toimintaan.

Testien aikana erityisesti merkkivalot tuntuivat olevan hyvin selkeitä eikä jälkepäin ajateltuna ollut koskaan epäselvää tarkastelukulmasta huolimatta, mitä A-Mate oli milloinkin tekemässä.

Etusaan alaviistoon suunnattua anturia testattiin simuloimalla estettä rinnan korkeudella. AGV pysähtyi ajallaan eikä alle jäämisen tai lattiaa korkeammalla sijaitsevaan kohteeseen törmäämisen riskiä ollut. Huomattavaa on, että kyseinen anturi ei ollut kuitenkaan turva-anturi.

#### **5.3.4 Lisähavainnot**

Avertas Robotics oli saanut kyseisen A-Maten vain päiviä ennen Vaasan tehtaalle saapumista. Tästä huolimatta koeajot sujuivat lähes ongelmitta. Aluksi laite antoi tuntemattoman virheen, mutta ongelma selvisi nopeasti soittamalla Saksaan asiakaspalveluun. Kyseessä oli lämpötilaan reagoiva anturiongelma, joka poistui sillä, että AGV:n annettiin vain olla sisälämpötilassa hetken aikaa.

Seurattuamme vierestä ja ruudulta, miten A-Matea ohjattiin ja miten reittejä luotiin, olimme hyvin luottavaisia siihen, että laitteen hallinta talon sisäisesti oli enemmän kuin mahdollisuus. Avertas Robotics mainosti myös koulutusta A-Matea varten.

Vaikka tilaa on hyvin vähän, A-Mate tuntui suoriutuvan pienessä tilassa liikkeessään ja tiukoissa mutkissa erinomaisesti menettämättä kovin paljon nopeudestaan.

Ohjelmistopuolella K. Hartwall ei tosin tarjonnut omaa WMS-ohjelmistoa, vaan tähän tarkoitukseen Avertas Robotics suositteli suomalaisen Roima Intelligence Oy:n tuottamaa Roima FidaWare WMS -ohjelmistoa. Myös A-Matea voidaan käyttää ilman WMS-ohjelmistoa pienissä siirtotöissä.

Hinta-arvio AGV-järjestelmälle, joka sisältää kolme A-Matea olisi ollut noin 300 000 €.

#### 5.4 Yleisiä huomioita koeajoista

Kommunikaatio eri järjestelmien välillä pitää ottaa huomioon automatisoinnin yhteydessä. Tällä vältetään konfliktit eri laitteiden välillä. Paras vaihtoehto on yhteinen hallintaohjelmisto kaikille AGV-laitteille. Jos tämä ei ole mahdollista, useissa hallintaohjelmistoissa on mahdollisuus saada tämä tieto toisesta hallintaohjelmistosta.

Reittisuunnittelussa AGV-laitteille on syytä luoda vaihtoehtoisia reittejä. Jos pieni odotelu ei ole haitaksi, voidaan reitille määrittellä alueita. Alueiden määrittelyn jälkeen hallintaohjelmisto varaa tietyn alueen siellä tehtävää tekeväälle AGV:lle eikä sinne lähetetä muita laitteita.

AGV-laitteisto vaatii vapaat käytävät. Myös käytävien leveydet ovat aika kriittisiä, etenkin laitteiden maksimaalisen tehokkuuden näkökulmasta. Jos laitteet kulkevat ryömintänopeudella pitkiä aikoja, hukkautuu tähän laitteen tehokkuudesta tietty osuus.

Huomattavaa on, että kumpikaan vihivaunu ei vaatinut jatkuvaa WiFi-yhteyttä, vaan yhteyttä käytettiin lähinnä komentojen vastaanottamiseen AGV:n hallintajärjestelmältä. Molemmat AGV:t tekevät jonossa olevat tehtävät loppuun vaikkei aktiivista yhteyttä olisiakaan. Tämä mahdollistaa pienet WiFi-katvealueet tehtaalla.

Kuten riskiarvioinnissa tuli esille kappaleessa 5.1, AGV:lle ei ole suotavaa pysähtyä palo-oven kohdalle. Asialle ei toki voi mitään, jos laite hajoaa saman aikaisesti palohälytyksen aikana. Tämä on toki mahdollisuus, jos laite itsessään on palon alkulähde. Palo-hälytyksen sattuessa hallintajärjestelmälle pitää kertoa, että AGV:n pitää pysähtyä, mutta vasta kun ollaan sallitulla alueella, eli palo-ovien vaikutusalueen ulkopuolella. Jos AGV on palo-ovien vaikutusalueen sisäpuolella, hallintajärjestelmän pitää ajaa AGV pois palo-ovien luota, jolloin varmistetaan, ettei vihivaunun mikään osa voi estää palo-ovien toimintaa.

## 6 AGV-VERTAILU

Kun laitteistot saatiin toimimaan riittävän hyvin olosuhteisiin nähden, paikalle kutsuttiin tehtaan johtoa sekä muita sidosryhmiä katsomaan koeajoja toiminnassa. Yleisesti henkilöstö oli kiinnostunut uuden teknologian laitteista. Etenkin kun laitteet saatiin suorittamaan annettuja tehtäviä. Henkilöt esittivät pääosin kysymyksiä liitettävyydestä tehtaan järjestelmiin. Tätä emme koeajojen puitteissa päässeet kokeilemaan, mutta monempia trukkityyppejä oli onnistuneesti liitetty eri tehtaiden järjestelmiin. Taulukossa 10 näkyy arviointipisteet laitteille kokeilujen perusteella.

**Taulukko 10.** Vertailutaulukko.

Ominaisuus	Painoarvo	Pisteet (1-5)		Arvosana	
		Toyota	K.Hartwall (A-Mate)	Toyota	K.Hartwall (A-Mate)
Nostokapasiteetti	15 %	5	2	0,75	0,3
Tilantarve	25 %	2	5	0,5	1,25
Navigointitapa	20 %	2	4	0,4	0,8
Akusto ja lataus	5 %	4	5	0,2	0,25
Reittimuutokset	15 %	1	4	0,15	0,6
Hinta	5 %	3	4	0,15	0,2
Indikointi (valot/äännet)	5 %	2	4	0,1	0,2
Liitettävyyys	10 %	3	4	0,3	0,4
Yhteensä	100 %	22	32	2,55	4

Nostokapasiteetin kohdalla K. Hartwall ei sovellu pakettien hyllyttämiseen yli metrin korkeuteen. Toyota mahdollisti nostot korkeimmillekin lavapaikoille. Painoraja nostoissa ei tullut kummallakaan laitteella vastaan. Toimintatilarpeen puolesta Toyota ei kuitenkaan pysty välttämä nostoihin tai muihin toimenpiteisiin. K. Hartwall puolestaan mahtui hyvin ahtaammallekin käytävälle.

Navigointi on lähtökohtaisesti Toyotalla hieman tarkempi, mutta heijastimien käyttö navigoinnissa on suuri haittapuoli. Muuttuvan tuotannon takia heijastimia pitäisi siirtää useamman kerran vuodessa. Reittimuutoksia varten tarvitaan Toyotalta ammattilainen tekemään muutokset. K. Hartwall hallintaohjelmistolla reittimuutosten teko onnistuu paikallisesti.

Akkukapasiteetti oli testien perusteella molemmissa laitteissa riittävän hyvä. Li-ion-akut ovat nykypäivän tasoa. K. Hartwallin lisäakkujen käyttömahdollisuus toi lisäpisteitä.

Toyota on investointina hieman kalliimpi ratkaisu kuin K. Hartwall. Myös reittimuutosten tekeminen laitetoimittajan puolelta tuo hieman lisää käytönaikaisia kustannuksia. Molemmilla laitteilla oli normaali kerran vuodessa tehtävä trukkihuolto, joka Toyotan tapauksessa vaatii lisäksi myös hydraulikkajärjestelmän tarkistuksia.

K. Hartwallin laitteessa merkkivalot olivat erittäin selkeät. Toyotan merkkivalot olivat minimivaatimustason mukaiset, kun taas A-Mate oli alusta lähtien hyvin selkeä visuaalissa mielessä. Avertas Roboticsin mukaan merkkivalot olivat täysin itse hallittavissa. Laitteiden äänet olivat lähes identtisiä, oletusääni oli piippaus. Molemmat vihivaunut mahdollistivat ääniasetusten muuttamisen, mutta A-Maten räätälöimismahdollisuudet olivat tässäkin asiassa omaa luokkaansa.

Loppuarvosanaksi muodostui Toyotalle 2,6 ja K. Hartwall 4. Näiden arviointien perusteella A-Mate soveltuu paremmin Vaasan tehtaan toimintoihin. A-Mate:n parhaita ominaisuuksia on pieni tilantarve sekä navigoinnin helppous. Yksittäisenä suurimpana miinuksena A-Mate:ssa on nostokorkeus, joka on kompromissi kompaktin sähköisen nostolaitteen ansiota. Toyotan paras ominaisuus on hyvä nostokapasiteetti ja suurin yksittäinen miinus Toyotassa oli tilantarve, joka oli erittäin suuri. Koekäytön aikana tehtyjen havaintojen perusteella loimme tehtaan johdolle esityksen kyseistä laitteista (Liite 2).

## 7 JOHTOPÄÄTÖKSET

AGV-laitteistoon ja sen käyttöönottoon tutustuminen toi aihealueeseen hyvää käytännötuntemusta. Projektin myötä henkilökohtainen tietämys AGV-laitteistoista lisääntyi huomasti. Myös tehtaassa olevien eri sidosryhmien kannalta koeajot olivat opettavaisia, ennen varsinaisen järjestelmän hankintapäätöstä. Etenkin siitä syystä, että aikaisempaa kokemusta automaattisista trukkityyppisistä laitteista ei ollut.

AGV-laitteissa on hyvä potentiaali tuottavuuden kasvattamiseen. Myös turvallisuustaso vakiintuu verrattuna ihmisen tekemään, koska AGV-laitteet ovat usein aika kattavasti varusteltu turvalaittein. Maksimaalisen hyödyn saavuttamiseksi itse käyttökohteet ja laitteisto pitää kuitenkin kohdata. Eli valitaan oikeanlainen laitteisto riippuen käyttökohteesta ja ympäristöstä.

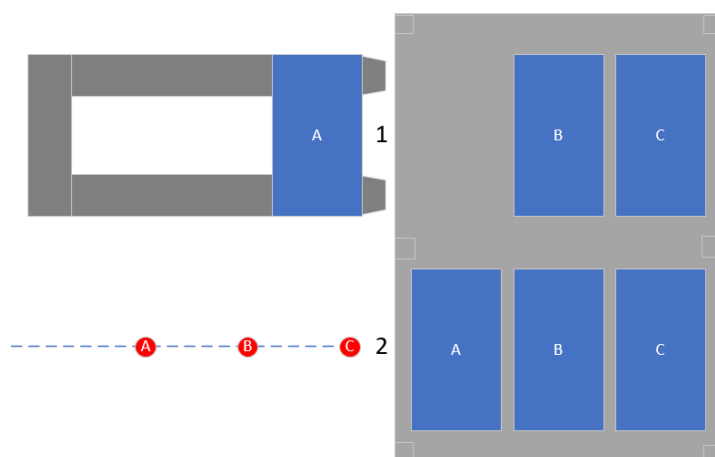
Tämän työn pohjalta ideoitiin viisi neuvoa AGV-laitteiston hankintaan, joista voisi olla apua muille vastaavan laitteiston hankinnassa.

- Laitteen vaatima työskentelytila. Automaattinen pinoamisvaunu vaatii hieman enemmän työskentelytilaa kuin perinteinen pinoamisvaunu. Ihminen voi oikoa mutta kone ei. Myös laitteiden välillä on suuria eroja tilavaatimuksissa.
- Jos laitteiston koekäyttö on mahdollista, kannattaa se toteuttaa. Hinta koekäytölle on usein kuitenkin marginaalinen lopullisen järjestelmän hinnasta. Useimmat toimittajat tarjoavat myös leasing-tyyppisiä ratkaisuja, jos satojen tuhansien alkuinvestointeja ei haluta toteuttaa.
- Toimintaympäristön huomioiminen. Ympäristö vaikuttaa muun muassa navigointitavan valintaan. Tarvitaanko reittimuutoksia usein, ja jos tarvitaan, onko niiden muokattavuus yksinkertaista, ja voiko sen tehdä itse.
- Liitettävyyden muihin järjestelmiin. Yksinkertainen a – b siirto voidaan useimmiten toteuttaa nopeasti ilman isoa ja pitkää IT-projektia. Täydellinen integrointi järjestelmiin voi vaatia jopa useiden kuukausien projektin.
- AGV-laitteiston hankintapäätöksen jälkeen on usein suositeltavaa aloittaa muutamalla toiminnolla ja esimerkiksi yhdellä laitteella. Tätä sitten tarpeen vaatiessa laajennetaan, vaikka lopulta koko tehtaasta kattavaksi AGV-ympäristöksi.

## 7.1 Jatkokehitys

### Deep stacking

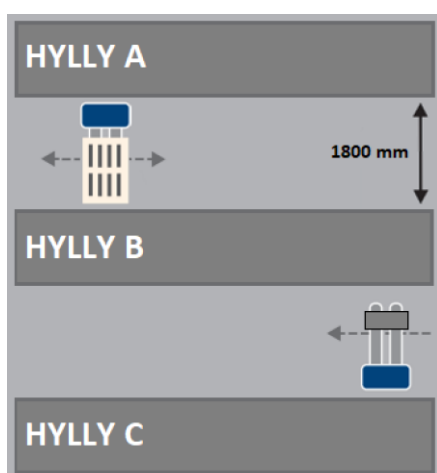
Tuotteiden hyllytykseen lisäkapasiteettia voisi tuoda asettelemalla tuotteita hyllyyn peräkkäin (**Kuva 66.**). Yhdessä hyllyvälissä täytyisi olla samanlaisia tuotteita, jotta vältetään ylimääräiseltä laitteiden vaihdolta.



**Kuva 66.** Deep stacking -visio.

### Omnidrive

A-Maten Omnidrive-ominaisuus luo mahdollisuuden pienentää hyllyjen välissä olevan käytävän pinta-alaa. Käytävät vievät 48 % pinta-alasta, joten hyllyväliä voi pienentää. Koekäyttöalueen hyllyväli oli 3 200 mm.



**Kuva 67.** A-Maten Omnidrive-potentiaali.

**Dynaaminen bufferointialue.**

AGV:lla toteutettavan puskurin ei tarvitse olla tietyssä paikassa, kuten juuri tarkoitusta varten rakennetussa hyllyssä, vaan sen sijaintia voidaan muuttaa helposti esimerkiksi hyllystä toiseen tai jopa toiseen halliin.

## LÄHTEET

/1/ Fazlollahtabar, H. & Saidi-Mehrabad, M. Autonomous Guided Vehicles. 2015. Springer Cham, 2015.

/2/ Yritysesittely Danfoss 2022. Viitattu 7.10.2022.

/3/ Danfoss Intranet. Viitattu 7.10.2022.

/4/ Facts worth knowing about frequency converters. Viitattu 8.12.2022.  
<https://www.danfoss.com/fi-fi/about-danfoss/our-businesses/drives/knowledge-center/knowledge-articles/>.

/5/ Mikkonen, T. Lean käytäntöön : opas tieto- ja palvelutyön kehittämiseen 2022. Helsingin seudun kauppakamari / Helsingin Kamari Oy ja tekijät, 2022.

/6/ S. S. SFS, Kuormalavat. Osa 1: 800 mm x 1200 mm puisen kuormalavan rakenne UNE-EN 13698-1, 2004.

/7/ Types of AGVs (Automated Guided Vehicles). Viitattu 14.10.2022.  
<https://www.iqsdirectory.com/articles/automated-guided-vehicle/types-of-agvs-automatic-guided-vehicles.html>.

/8/ Automated Guided Vehicles: The 5 Main Things To Know. Viitattu 18.11.2022.  
<https://www.flexqube.com/news/automated-guided-vehicle-systems-5-things-to-know-before-introducing-agvs-to-your-shop-floor/>.

/9/ Difference between AMR and AGV. Viitattu 4.11.2022.  
<https://www.geeksforgeeks.org/difference-between-amr-and-agv/>.

/10/ AGV:N JA MANUAALITRUKKIEN YHTEISTOIMINTA JA OHJAUS. Viitattu 13.1.2023.  
<https://www.mitsubishi-forklift.fi/automaatio>.

/11/ L 23.8.2002/738 Työsuojelulaki. Finlex. Viitattu 4.11.2022.  
<https://finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2002/20020738>.

/12/ Työsuojaelu. Vaarojen arviointi. Viitattu 4.11.2022.  
<https://www.tyosuojaelu.fi/tyosuojaelu-tyopaikalla/vaarojen-arviointi/riskien-hallintam>.

/13/ Riskien hallinta. Viitattu 4.11.2022. <https://www.tyosuojaelu.fi/tyosuojaelu-tyopaikalla/vaarojen-arviointi/riskien-hallinta>.

/14/ Koneturvallisuus. Viitattu 4.11.2022.  
[https://www.tyosuojaelu.fi/documents/14660/2426906/Koneturvallisuus\\_tso\\_16-2009.pdf/6ae406a0-29fc-45fa-a4a6-19e38af399cc](https://www.tyosuojaelu.fi/documents/14660/2426906/Koneturvallisuus_tso_16-2009.pdf/6ae406a0-29fc-45fa-a4a6-19e38af399cc).

/15/ White paper risk assessment and risk reduction for machinery pt3. Viitattu 9.12.2022.  
[https://cdn.sick.com/media/docs/2/92/292/whitepaper\\_risk\\_assessment\\_and\\_risk\\_reduction\\_for\\_machinery\\_part\\_3\\_conducting\\_risk\\_estimation\\_en\\_im0082292.pdf](https://cdn.sick.com/media/docs/2/92/292/whitepaper_risk_assessment_and_risk_reduction_for_machinery_part_3_conducting_risk_estimation_en_im0082292.pdf).

- /16/ Mobile Assistance Systems - Transportation Vehicles. Viitattu 20.1.2023. [https://www.sew-eurodrive.fi/automaatio/factory-automation/mobile-assistance-systems/transportation\\_vehicles/transportation\\_vehicles.html](https://www.sew-eurodrive.fi/automaatio/factory-automation/mobile-assistance-systems/transportation_vehicles/transportation_vehicles.html).
- /17/ Considering Ergonomics in the Planning of Tugger Train Systems for. Viitattu 16.2.2023. [https://www.matec-conferences.org/articles/matecconf/pdf/2017/09/matecconf\\_icmme2017\\_11005.pdf](https://www.matec-conferences.org/articles/matecconf/pdf/2017/09/matecconf_icmme2017_11005.pdf).
- /18/ Vihivaunu eli automaattitrukki (AGV). Viitattu 14.10.2022. <https://kampanja.toyota-forklifts.fi/vihivaunu/>.
- /19/ Trukit ja automaatio. Viitattu 2.12.2022. <https://toyota-forklifts.fi/tuotteemme/>.
- /20/ Linden, D. & B. R. Handbook of Batteries. USA: McGraw-Hill., 2002, s. 588.
- /21/ Linden, D. & B. R. Handbook of Batteries. USA: McGraw-Hill., 2002, s. 1075.
- /22/ Manufacturing 4.0 Operations Scheduling with AGV Battery Management Constraints. Viitattu 7.10.2022. <https://www.mdpi.com/1996-1073/13/18/4948>.
- /23/ AGV Wireless Charging. Viitattu 20.1.2023. <https://www.agvnetwork.com/wireless-charging-for-agv-and-autonomous-mobile-robots>.
- /24/ Ullrich,G. Automated Guided Vehicle Systems. 2015, s. 122-123.
- /25/ Omron-EMB brochure. Viitattu 18.11.2022. [https://assets.omron.eu/downloads/brochure/en/v7/i834\\_fleet\\_manager\\_brochure\\_en.pdf](https://assets.omron.eu/downloads/brochure/en/v7/i834_fleet_manager_brochure_en.pdf).
- /26/ Building AGVs. Viitattu 18.11.2022. <https://www.kollmorgen.com/en-us/solutions/automated-guided-vehicles/building-agvs/?ref=agv-industry>.
- /27/ Wire Guidance. Viitattu 10.3.2023. <http://www.steinbockus.com/AGVs/Guidance/content2.html>.
- /28/ Inductive Wire Guidance. Viitattu 1.2.2023. <http://www.steinbockus.com/AGVs/Guidance/content.html>.
- /29/ Inductive Track Guidance Antenna. Viitattu 5.2.2023. [https://www.goetting-agv.com/dateien/downloads/HG\\_G-19534-A\\_E\\_data-sheet\\_R05\\_TD.pdf](https://www.goetting-agv.com/dateien/downloads/HG_G-19534-A_E_data-sheet_R05_TD.pdf).
- /30/ Contactless inductive power transfer for Automated Guided Vehicles. Viitattu 10.3.2023. <https://ipt-technology.com/case-agv/>.
- /31/ Guidelines for Guide Wire Laying. Viitattu 10.2.2023. [https://www.goetting-agv.com/dateien/downloads/inductive\\_E\\_guidelines-for-guide-wire-layering\\_R02\\_TD.pdf](https://www.goetting-agv.com/dateien/downloads/inductive_E_guidelines-for-guide-wire-layering_R02_TD.pdf).

- /32/ Building a Magnetic Track Guided AGV. Viitattu 14.2.2023.  
<https://www.roboteq.com/applications/all-blogs/18-building-a-magnetic-track-guided-agv>.
- /33/ How Does AGV Navigation Work. Viitattu 27.11.2022. <https://www.asap-rental.com/how-does-agv-navigation-work-asap-rental-china/>.
- /34/ 4 Types of AGV (Automated Guided Vehicles) Navigation Systems. Viitattu 15.12.2022. <https://ist-robot.com/types-of-agv-navigation-systems>.
- /35/ Solving verkkosivusto. Vihivaunut. Viitattu 18.12.2022.  
<https://www.solving.com/fi/tuotteet/vihivaunut-agv/>.
- /36/ Inertial navigation method applicable to AGV storage. Viitattu 10.3.2023.  
<https://patents.google.com/patent/CN105180932A/en>.
- /37/ Comparison of 11 different types of AGV navigation methods. Viitattu 10.3.2023.  
<http://www.agvblog.com/514.html>.
- /38/ Pulssi- ja vaihe-erokeilaimen vertailu puustomittauksissa. Viitattu 10.3.2023.  
<https://aaltodoc.aalto.fi/handle/123456789/25171> .
- /39/ Pulssi- ja vaihe-erokeilaimen vertailu puustomittauksissa. Viitattu 20.3.2023.  
[https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/25171/master\\_El\\_Issaoui\\_Aimad\\_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/25171/master_El_Issaoui_Aimad_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y).
- /40/ Kamerapohjainen applikaatio automaattitrukin esteentunnistukseen. Viitattu 20.3.2023.  
[https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/498262/Lanu\\_Janne.pdf?sequence=2](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/498262/Lanu_Janne.pdf?sequence=2).
- /41/ Lidar Mapping. Viitattu 22.3.2023. .  
<https://www.vectornav.com/applications/lidar-mapping#:~:text=LiDAR%20sensors%20are%20able%20to,sensing%20tool%20for%20mobile%20mapping>.
- /42/ Avertas Robotics Oy. 10.10.2022.
- /43/ Automation in intralogistics. Viitattu 15.12.2022. .  
<https://www.still.co.uk/intralogistics-systems/automated-guided-vehicles.html>.
- /44/ Agilox. Viitattu 1.10.2022 . <https://www.agilox.net/en/product/agilox-one/>.
- /45/ Toyota Automaattitrukit. Viitattu 1.10.2022. <https://toyota-forklifts.fi/automaattitrukit/>.
- /46/ AGV mobile robots. Viitattu 1.11.2022. <https://k-hartwall.com/solutions/automated-guided-vehicles/>.

/47/ Automated Guided Vehicles (AGV). Viitattu 1.11.2022. .

<https://www.jungheinrich.com.sg/systems/driverless-transport-systems/automated-guided-vehicles>.



## LIITE 2

Esitys AGV-koekäytöstä tehtaan johdolle.

