



Osaamista  
ja oivallusta  
tulevaisuuden  
tekemiseen

Joonas Seppälä

# Vihivaunujärjestelmän hyödyntäminen terminaalitoiminnassa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Konetekniikan tutkinto-ohjelma

Insinöörityö

12.10.2020

Tekijä Otsikko	Joonas Seppälä Vihivaunujärjestelmän hyödyntäminen terminaalitoiminnassa
Sivumäärä Aika	43 sivua + 1 liite 12.10.2020
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Konetekniikka
Ammatillinen pääaine	Koneautomaatio
Ohjaajat	Lehtori Timo Junell Terminaalivastaava Petrus Pesonen, Swanline Oy
<p>Tämän insinööriyön aiheena oli vihivaunuteknologioiden nykytilan, tulevaisuuden näkymien, terminaalitoimintaan sopivuuden sekä vihivaunupalveluntarjoajan valintaan vaikuttavien tekijöiden selvitys. Tavoitteena oli saada vihivaunuista laaja näkemys, jota voidaan hyödyntää tehtäessä valintaa vihivaunuteknologioiden ja -palveluntarjoajien välillä. Työn tilaajana oli Swanline Oy, ja työ toteutettiin yrityksen Limingan-toimipisteessä.</p> <p>Työ toteutettiin käyttämällä hyväksi alan kirjallisuutta, internetlähteitä, asiantuntijahaastatteluita sekä kirjoittajan omaa kokemusta logistiikasta. Työssä käydään läpi yleisesti terminaalitoimintaan liittyvää logistiikkaa sekä vihivaunujen terminologiaa, vihivaunutyyppejä, navigointiratkaisuja, turvallisuutta ja akkuvaihtoehtoja. Työssä käsitellään myös terminaalien sopivuutta vihivaunuympäristöksi. Terminaalien pohjapiirustuksen hahmottelemiseen ja vihivaunujen reitityksen suunnittelemiseen käytettiin CAD-ohjelmistoa.</p> <p>Lopputuloksena syntyi kattava katsaus vihivaunuteknologioista ja käsitys niiden soveltuvuudesta terminaalitoimintaan. Opinnäytetyön selvityksen perusteella kompaktinkokoinen automaattitrucki, joka on varustettu litiumioniakulla, luonnollisella navigoinnilla ja kattavilla turvaominaisuuksilla, sopisi parhaiten käytettäväksi terminaalitoiminnassa.</p>	
Avainsanat	Vihivaunu, automaattitrucki, logistiikka

Author Title	Joonas Seppälä Utilization of Automatic Guided Vehicles in Terminal Operation
Number of Pages Date	43 pages + 1 appendix 12 October 2020
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Mechanical Engineering
Professional Major	Machine Automation
Instructors	Timo Junell, Senior Lecturer Petrus Pesonen, Terminal Supervisor, Swanline Oy
<p>The objective of this Bachelor's thesis was to study the current state of automatic guided vehicles' (AGV) future prospects, implementation possibilities and factors that contribute to the selection of the AGV service provider. The goal was to achieve a broad conception of what is available on the market today. The thesis was commissioned by Swanline Oy and was carried out at the company's terminal in Liminka.</p> <p>The study was carried out by utilizing literature of the field, internet sources, professional interviews and the author's own experience from logistics. General logistics, AGV terminology, AGV types, navigation solutions, safety and battery options were examined in this study. The suitability of the terminal as an AGV environment was also evaluated. The blueprint of the terminal and possible AGV routes were created with a CAD program.</p> <p>As a result, an inclusive report of the current status of AGV technologies and their suitability to terminal operation was created. On the basis of this thesis, it can be suggested that a forklift AGV of a compact size, equipped with a lithium ion battery solution, natural navigation and sufficient safety features would be suitable to be implemented into the terminal.</p>	
Keywords	Automatic Guided Vehicles, AGV, Logistics

## Sisällys

1	Johdanto	1
1.1	Työn tausta	1
1.2	Työn tavoitteet ja rajaukset	2
1.3	Työn toteutus	3
2	Logistiikka	4
2.1	Tulo-, lähtö- ja sisälogistiikka	4
2.2	Tilaus-toimitusketju	5
2.3	Logistiikkakustannukset	7
2.4	Terminaalitoiminta kaupan logistiikassa	9
3	Vihivaunut	10
3.1	Vihivaunutyypit	11
3.2	Navigointi	15
3.3	Vihivaunujen ohjausjärjestelmät	18
3.4	Ohjausjärjestelmän sisältö	20
3.5	Palvelutoiminnot ohjausjärjestelmässä	21
3.6	Vihivaunujen turvallisuus	22
3.7	Akkuvaihtoehdot	25
3.8	Akkujen lataus	27
4	Vihivaunujen soveltuvuus terminaalitoimintaan	29
4.1	Vihivaunut terminaalitoiminnassa	29
4.2	Tilaajayrityksen henkilökunnan haastattelut	30
4.3	Turvallisuus	30
4.4	Vihivaunujen ohjausjärjestelmä	31
4.5	Akut ja lataus	31
4.6	Käyttöympäristö	32
4.7	Terminaalin layout	33
4.8	Nykyisen toiminnan kululaskelma	36
5	Tulokset ja päätelmät	38

5.1	Keskeiset tulokset	38
5.2	Johtopäätökset ja työn arviointia	38
5.3	Jatkotutkimusaiheita	40
6	Yhteenveto	41
	Lähteet	43

# 1 Johdanto

## 1.1 Työn tausta

Terminaali on nimitys varastolle, jossa tavaroiden läpäisy aika on nopea, yleensä alle vuorokauden, sekä sinne saapuvilla tavaroilla on lopullinen toimitusosoite tiedossa. Terminaalitoiminta on tavaraerien yhdistelemistä suuremmiksi kokonaisuuksiksi lopullisen toimitusosoitteen ja muiden mahdollisten rajoitteiden mukaisesti. Terminaaliin saapuvat runkokuljetukset puretaan ja lajitellaan asiakaskohtaisiksi eriksi, minkä jälkeen valmiit käsitellyt kuormat kuljetetaan terminaaleista jakelukuljetuksina lopullisiin toimitusosoitteisiin tai toisiin terminaaleihin. (Hokkanen ym. 2010: 137.)

Suomi on harvaan asuttu maa, jossa välimatkat ovat pitkiä, mikä tarkoittaa ohuita tavaravirtoja. Ohuiden tavaravirtojen haasteeksi muodostuvat monesti korkeat logistiikkakustannukset volyymia kohden, aikataulut, toimituskertojen vähyyt sekä pitkäaikaisen varastoinnin tarve. Näiden haasteiden ratkaisemiseksi on perustettu terminaaleja, joihin otetaan vastaan eri tuotantolaitoksilta ja muista terminaaleista saapuvaa tavaraa ja yhdistellään ne lajittelutyönä toimituspaikkojen, lämpötilojen, aikataulujen sekä mahdollisten muiden rajoitteiden mukaisesti järjestyksessä kokonaisuuksiksi. Terminaalin kautta kulkeva tavara on loppuasiakkaan tilaamaa, eli kaikki terminaalin tullut tavara lähtee nopeasti käsittelyn jälkeen eteenpäin. Terminaalissa ei siis varastoida mitään, vaan varastot ovat pääosin tuotantolaitoksilla jalostamattomassa muodossa. Esimerkkinä voi käyttää karjalanpiirakoita, joita voi olla varastoituna jonkin verran tuotantolaitoksella, mutta pääosin varastossa on kuitenkin karjanpiirakoiden ainesosia, kuten ruisjauhoa ja riisiä. Tämä on järkevää jo siitäkin syystä, että ainesosilla on parempi säilyvyys kuin valmiilla tuotteella. Näistä ainesosista valmistetaan tilattu määrä valmista tuotetta, joka toimitetaan edelleen terminaaliin toimitettavaksi loppuasiakkaille. (Pasanen 2020.)

Terminaali on välipurkupaikka, mikä tarkoittaa yhtä lastaus- ja yhtä purkutapahtumaa lisää verrattuna tavarantoimitukseen suoraan tuotantolaitokselta loppuasiakkaalle. Jokainen lisäkäsittelyvaihe puolestaan lisää riskiä tavarantoimituksen rikkoutumiselle sekä häviömi-

selle. Lisäksi kulku terminaalin kautta ei ole lyhyin suora matka tuotantolaitoksen ja loppuasiakkaan välillä, joten myös toimitusaika pitenee. Jotkut tavarat voivat kulkea jopa monien satojen kilometrien ylimääräisen matkan, mutta saavutetun jakelualueen laajenemisen ja laskeneiden logistiikkakustannusten myötä se on kokonaisuuden kannalta järkevää. (Pasanen 2020.)

Terminaalitila on yleisesti haluttu pitää joustavana, joten kiinteitä asennuksia lattiassa ei juuri ole, vaan koko tila mukautuu volyyminvaihteluiden mukaisesti. Tästä syystä varastoautomaatiota ei ole, sillä se vaatii useasti esimerkiksi radastojen kiinnittämistä lattiaan. Lajittelutyö terminaaleissa tehdään suurimmaksi osaksi fyysistä miestyövoimaa käyttäen apuna manuaalisesti ohjattavia trukkeja, lavansiirtovaunuja sekä haarukkavaunuja. (Pasanen 2020.)

Ennusteiden mukaan koko varastoautomaatiomarkkinoiden arvioidaan kaksinkertaistuvan vuosien 2018 ja 2025 välillä 13 miljardista dollarista 27 miljardiin dollariin. Ennustetun kasvun taustalla on etenkin nettikaupan jatkuva kasvu, joka lisää työtä merkittävästi koko toimitusketjun osalta johtuen sen pienistä lähetyskoista. Muita kasvuun vaikuttavia tekijöitä ovat toimitusketjujen kansainvälistyminen, kaupungeissa sijaitsevien keräilykeskusten lisääntyminen sekä kuluttajatottumusten kehittyminen. (Global Warehouse Market Report 2020–2025 2020.) Tämän opinnäytetyön tilaajayritys Swanline Oy haluaa seurata näitä trendejä ja nykyaikaistaa tuotantoaan varmistaakseen toimitusvarmuuden, laadun ja tehokkuuden myös tulevaisuudessa.

## 1.2 Työn tavoitteet ja rajaukset

Työn ensisijaisena tavoitteena on selvittää vihivaunuteknologioiden nykytilaa, tulevaisuuden näkymiä, sopivuutta terminaalitoimintaan sekä palveluntarjoajan valintaan vaikuttavia tekijöitä. Työn toissijaisena tavoitteena on selvittää, voidaanko henkilöstöä vapauttaa tuottavampiin töihin.

Tämä opinnäytetyö keskittyy suomalaisen kaupan elintarviketerminaalissa tehtävään työhön, joten lopulliset toimitusosoitteet ovat päivittäis- ja käyttötavarakauppoja. Terminaalissa tehdään päivittäin huomattava määrä asiakaskerätyjen yksiköiden siirtoja. Asiakaskerätyillä yksiköillä tarkoitetaan kuljetusyksiköitä, joita ei käsitellä terminaalissa ollenkaan, vaan ne kulkevat muuttumattomina terminaaliprosessin läpi. Työ rajataan koskemaan ainoastaan +8 celsiusasteen lämpötila-alueella tehtäviä EUR-lava-asiakasyksiköiden siirtoja. Rajauksesta huolimatta on hyvä ottaa huomioon, että terminaalissa on myös muita toimintoja, joita voidaan harkita vihivaunuilla toteutettaviksi. Tästä syystä ratkaisumahdollisuuksia verrattaessa on tärkeää ottaa huomioon sen laajennusmahdollisuudet.

### 1.3 Työn toteutus

Työ tehtiin Swanline Oy:n tilauksesta. Swanline Oy suomalainen perheyriutus, joka on tuottanut logistisia ratkaisuja suomalaisen kaupan ja teollisuuden tarpeisiin vuodesta 1967 lähtien. Yritys työllistää noin 150 henkilöä pääasiassa kolmella paikkakunnalla: Limingassa, Lempäälässä ja Vantaalla. Yrityksellä on historiaa monelta eri logistiikan osa-alueelta, mutta nykypäivänä päätoiminnot ovat sisälogistiikassa, tarkemmin ottaen suomalaiselle kaupalle toteutettavassa terminaalioperoinnissa. (Swanline 2020.)

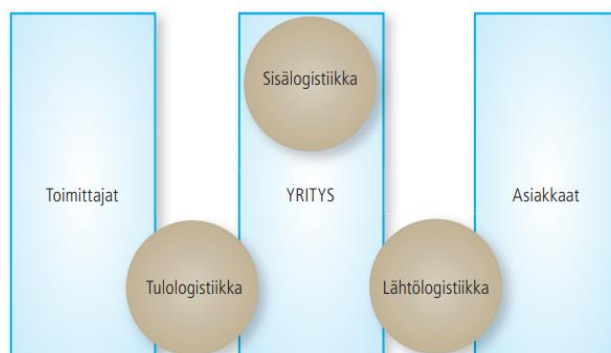
Työ toteutettiin käyttämällä hyväksi alan kirjallisuutta, internetlähteitä, keskusteluita asiantuntijoiden kanssa sekä kirjoittajan omaa kokemusta logistiikasta. Työn tutkimusote on toiminta-analyttinen ja tutkimusaineiston analysointi pohjautuu teoriapohjaiseen analyysiin. Teoriapohjana käytettiin alaan ja työn aiheeseen liittyvää kirjallisuutta sekä internetlähteitä, minkä jälkeen tietopohjaa syvennettiin asiantuntijahaastatteluilla. Asiantuntijat olivat Swanline Oy:n henkilökuntaa sekä vihivaunupalveluntarjoajien edustajia. Vihivaunupalveluntarjoajien haastatteluissa käytettiin runkona liitteen 1 mukaisia kysymyksiä.

## 2 Logistiikka

Logistiikalle on olemassa monia eri määritelmiä. Laajassa mittakaavassa se on materiaali-, raha- ja tietovirtojen hallintaa koko tilaus-toimitusketjun osalta. Tilaus-toimitusketjulla tarkoitetaan verkostoa, jossa erilliset organisaatiot pyrkivät muodostamaan toimivan kokonaisuuden, jolla hallitaan koko prosessi tilauksesta toimitukseen. (Logistiikka 2020.) Erillisillä organisaatioilla tarkoitetaan hankintatoimea, varastointia, kuljetusta ja jakelua sekä muita lisäarvopalveluita (Karrus 2005: 13). Logistiikan perimmäisenä tavoitteena on saada toimitettua sovittu määrä sovittun laatuista raaka-ainetta, puolivalmistetta tai valmista tuotetta sovittuun paikkaan sovittuun aikaan. On tärkeää huomioida, että tehokasta ja toimivaa logistiikkaa pidetään monissa yhteyksissä yritysten toiminnan elinehtona. (Ritvanen 2011: 22.)

### 2.1 Tulo-, lähtö- ja sisälogistiikka

Logistiikka voidaan jakaa yrityksen näkökulmasta kuvan 1 mukaisesti kolmeen osaan: tulo-, sisä- ja lähtölogistiikkaan. Tulologistiikkaan sisältyvät tavaran vastaanotto, tarkastaminen, purkaminen ja varastoon tai terminaaliin sijoittaminen. Tulologistiikkaan katsotaan yleensä kuuluvan myös hankintatoimi, mikä määritellään tulologistiikan ensimmäiseksi vaiheeksi. Hankintatoimen tehtävä on hankkia yritykselle materiaalit, tuotteet ja palvelut määrällisesti, ajallisesti ja laadullisesti mahdollisimman kustannustehokkaasti. (Ritvanen ym. 2011: 31–32.)



Kuva 1. Yrityksen tulo-, sisä- ja lähtölogistiikka (Ritvanen ym. 2011: 21)

Sisälogistiikka käsittää materiaalin ja tuotteiden käsittelyn oman organisaation sisällä. Sisälogistiikkaan kuuluvat muun muassa kokoonpano ja laitteiden huolto. Terminaalitoiminta on hyvä esimerkki sisälogistiikasta, sillä siinä ei olla logistiikan näkökulmasta suorassa yhteydessä loppuasiakkaisiin tai toimittajiin. Yrityksen sisälogistiikkaan vaikuttaa paljon tuotantomuoto, joka taas riippuu yrityksen toimialasta, valmistettavista tuotteista ja asiakastarpeista. (Ritvanen ym. 2011: 47.)

Teollisuudessa pyritään jatkuvasti parantamaan kilpailukykyä sekä tuottavuutta, ja etenkin jälkimmäisen parantamisessa logistiset toimintaprosessit ovat tärkeitä tekijöitä. Tieto-, materiaali- ja rahavirtojen sujuva liikkuminen on edellytys tehokkaalle toiminnalle. Logististen prosessien tehostamista miettiessä on syytä huomioida koko tilaus-toimitusketju, ettei jonkin yhden osan tehostus tapahtuisi toisen osan kustannuksella. Logistisia prosesseja voidaan kehittää esimerkiksi poistamalla lisäarvoa tuottamattomia vaiheita (kuten varastointia), tuotantoa ja jakelua tehostamalla, läpimeno- ja odotusaikoja vähentämällä sekä parantamalla tiedonkulkua, varastointiteknologiaa, asiakaspalvelua ja työturvallisuutta. (Ritvanen ym. 2011: 50–51.)

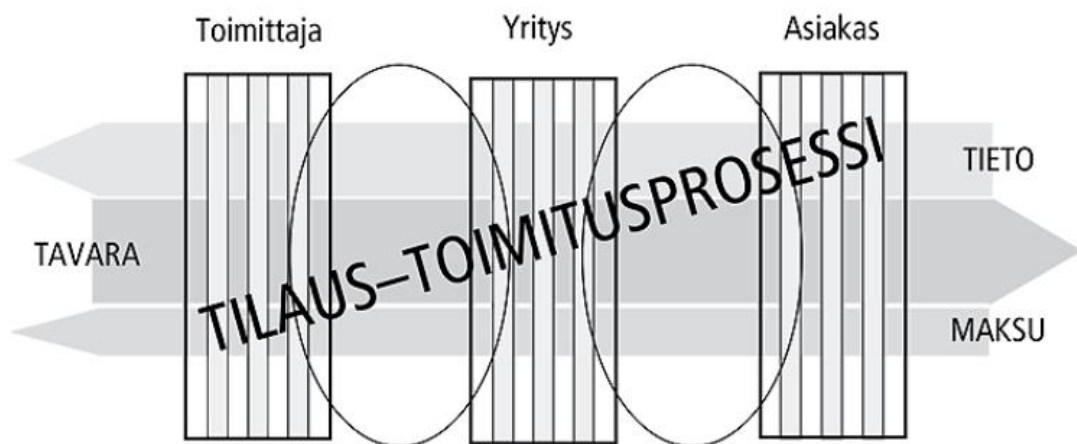
Lähtölogistiikkaan kuuluvat materiaalin keräily, pakkauksen, kuljetuksen lisäksi myös paluulogistiikka ja lisäarvopalvelut. Lisäarvopalvelut ovat yhdessä asiakkaan kanssa määritettäviä toimintoja, jotka voivat olla esimerkiksi tuotteiden lajittelua, pakkausta, huoltoa ja kierrätystä. (Ritvanen ym. 2011: 20–21.)

## 2.2 Tilaus-toimitusketju

Tilaus-toimitusketju, tilaus-toimitusprosessi (Sakki 2014) tai kysyntä-toimitusketju (Ostaja ja logistiikka 2020) (supply chain) on useasta yrityksestä ja niiden työntekijöistä koostuva ryhmä, jotka ovat vuorovaikutuksessa toistensa kanssa tavarantoimitusten, palvelusuo-ritusten, tiedonvaihdon ja rahaliikenteen osalta. Toimitusketjussa tavarat liikkuvat yhteen suuntaan raaka-ainelähteiltä kuluttajille. Tilauksella tarkoitetaan kysyntää ja siihen liittyvää tietovirtaa, joka kulkee toimitusketjussa pääosin vastakkaiseen suuntaan. (Sakki 2014.)

Noin puolet tilaus-toimitusketjussa tehtävästä työstä on toimistotyötä ja ihmisten välistä kommunikointia, jota kutsutaan ohjaukseksi. Sillä tarkoitetaan tavarantoimittajilta tulevien lähetysten ja siihen tarvittavien palveluiden yhteensovittamista asiakkaiden tarpeiden kanssa. Toinen puoli tilaus-toimitusketjussa tehtävästä työstä on fyysistä toteuttamista eli tavarankäsittelyä, kuljettamista, varastointia, tehdastyötä, asiakirjojen tuottamista, laskuttamista, saatavien valvontaa ja maksujen suorittamista. (Sakki 2014.)

Kuvassa 2 on nähtävissä yksinkertainen malli tilaus-toimitusketjusta, jossa ovat tavarantoimittaja, kohdeyritys ja asiakas. Logistiikkayritys toimittajan ja asiakkaan välissä voi olla esimerkiksi sellainen, joka jalostaa edelleen toimittajalta hankkimaansa tuotetta ja toimittaa sen edelleen asiakkaalle. Toinen esimerkki voisi olla, että logistiikkayritys hankkii valmiita tuotteita toimittajalta ja välittää ne edelleen useille eri asiakkaille. Variaatioita ketjusta on joka tapauksessa monia, ja yleensä tilaus-toimitusketju nähdäänkin enemmän verkostona, jossa sen eri osat voivat olla yhteyksissä toisiinsa. Rajapinnat eri osioiden välillä ovat tärkeitä, sillä niissä tehdyt päätökset vaikuttavat ketjun muihin osapuoliin. Rajapintojen haasteena on, että niissä tehdään monesti päällekkäistä työtä, joka paremman kommunikaation avulla voitaisiin välttää. (Sakki 2014.)



Kuva 2. Tilaus-toimitusprosessi (Sakki 2014)

**Tietovirrasta** suurin osa on asiakas- ja hankintatilauksia, mutta myös tietoja suunnitella ja ennustamista varten tarvitaan. Oikean tiedon avulla voidaan välttyä esimerkiksi turhilta varastoimisilta, virhetilauksilta ja kuljettamiselta. Tietovirta on kaksisuuntaista, mutta se kulkee kuitenkin suurimmaksi osaksi asiakkaalta yritykselle ja edelleen toimittajille. (Sakki 2014.)

**Tavaravirta** kulkee yleensä pääosin toimittajalta asiakkaalle. Erityisesti Suomen kaltaisessa maassa, jossa välimatkat ovat pitkiä ja asutus harvaa, on tavaravirtojen yhdistely tärkeää kuljetus- ja varastokustannusten minimoimiseksi. Tavaravirtaan liittyy myös monia muita kuljetettavan tavarantoimittajien asettamia mahdollisia ehtoja, kuten aikataulu-, käsittely- ja virheettömyysvaatimuksia. (Sakki 2014.)

**Rahavirran** toimivuus on vahvasti sidoksissa tietovirran toimivuuteen. Kun tieto tavarantoimittajien kulkemisesta ja toimituksista saadaan nopeasti käsiteltäväksi, myös laskutus on mahdollista tehdä nopeammin ja nopealla rahankierrolla on suuri vaikutus kannattavuuteen. Mitä nopeammin maksut saadaan asiakkaalta, sitä vähemmän pääomaa tarvitsee sitoa liiketoimintaan. Nopea rahankierto pienentää myös riskiä myyntisaamisten kasaantumisesta. (Sakki 2014.)

### 2.3 Logistiikkakustannukset

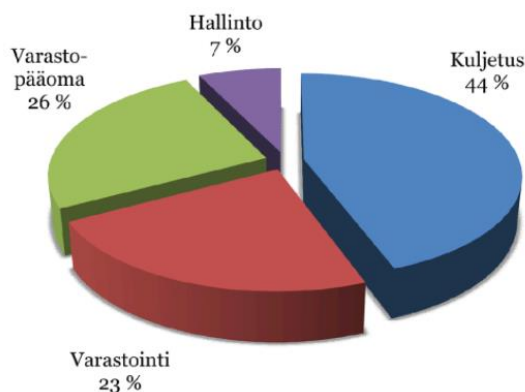
Logistisessa toimintaympäristössä on tapahtunut suuria muutoksia 2000-luvulle tultaessa. Internet on tehnyt hintojen vertailemisesta helppoa maailmanlaajuisesti, mikä taas on pidentänyt ja monimutkaistanut toimitusketjuja. Kiristynyt kilpailu on tuonut kustannussäästöpainetta myös logistiikkaan, mikä on saanut yritykset kiinnittämään huomiota kustannusten hallintaan ja toimitusketjun suorituskyvyn parantamiseen. (Osto ja logistiikka 2020.)

Logistiikkakustannukset jaetaan yleensä suoriin ja epäsuoriin kustannuksiin. Molemmille on myös muita nimityksiä; suoria kustannuksia voidaan kutsua ainakin muuttuviksi ja välittömiksi kustannuksiksi, kun taas epäsuoria kustannuksia kutsutaan myös kiinteiksi ja välillisiksi kustannuksiksi. Suoria kustannuksia logistiikkayrityksessä ovat esimerkiksi

rahti- tavarankäsittely- ja palkkakustannukset. Suorien kustannusten suuruus on yleensä suoraan verrannollinen volyyymiin. Epäsuoria kustannuksia ovat esimerkiksi logistiikkakaluston ja -tilojen pääomakulut sekä hallintokulut, jotka eivät yleensä jousta volyyymi- vaihteluiden mukaisesti. (Osto ja logistiikka 2020; Sakki 2014.)

Perinteinen tapa seurata kustannuksia on kirjanpidon kautta saatava kustannuspaikkamalli. Se antaa hyvän kuvan kokonaiskustannuksista, mutta tuote- ja asiakaskohtaiset kustannusten selvittämiseen se ei ole kovin tarkka tapa. Tämä johtuu siitä, että epäsuoria kustannuksia, kuten terminaalityluvuokraa, on haastavaa kohdistaa aiheuttamisperusteisesti asiakas- tai tuotekohtaisesti. Eri asiakkaat ja tuotteet muodostavat kustannuksia monilla eri tavoin, mikä on tärkeää huomioida, jottei kustannuslaskentaan aiheudu vääristymiä.

Kuvassa 3 on nähtävissä suuntaa-antava kustannusjakauma logistiikkakulujen jakautumisesta. Sakin (2014) mukaan kauppa- ja teollisuusyritysten logistiikkakuluista 46 % aiheutui varastoinnista, 38 % kuljettamisesta ja loput 16 % hallinnosta ja muista kuluista. Luvut ovat molemmissa lähteissä samansuuntaiset, pääosa kustannuksista muodostuu varastoinnista ja kuljetuksista, ja loppuosa jää hallinnolle ja muille kuluille. Tämä osoittaa, kuinka pääomavaltainen logistiikka-ala on, minkä johdosta on tärkeää, että täyttöasteet varastoissa sekä kuljetuksissa ovat korkeat. (Osto ja logistiikka 2020; Sakki 2014.)



Kuva 3. Logistiikkakustannusten jakautuminen (Osto ja logistiikka 2020)

## 2.4 Terminaalitoiminta kaupan logistiikassa

Logistiikkaketjuista erottuu kaksi päätyyppiä, kauppaliikkeet ja valmistava teollisuus, joista kauppa toimii valmistavan teollisuuden ja kuluttajien välisenä linkkinä. Suurimpana erona valmistavan teollisuuden ja kaupan välillä on se, että kaupan toimintaperiaatteena on pääasiassa tavarantoimituksen välittäminen, kun taas tavarantoimituksen jalostumisesta tulo- ja lähtölogistiikan välillä tapahtuu huomattavasti vähemmän. (Hokkanen ym. 2010: 45.)

Terminaalitoiminta muodostaa varaston idyllisimmän, sillä läpäisy-aika on nopea, pääsääntöisesti alle vuorokauden. Terminaaleille ominaista on, että sinne saapuvilla tavaroilla on yleensä lopullinen toimitusosoite tiedossa. Saapuvat tavarat ovat pienikokoisia, alle autokuorman kokoisia. Terminaalissa tehtävä työ on tavaroiden konsolidointia eli niiden yhdistelemistä suuremmiksi kokonaisuuksiksi lopullisen toimitusosoitteen ja muiden mahdollisten rajoitteiden mukaisesti. Saapuvat runkokuljetukset puretaan ja lajitellaan asiakaskohtaisiksi eriksi. Valmiit käsitellyt kuormat kuljetetaan terminaaleista jakelukuljetuksina lopullisiin toimitusosoitteisiin tai toisiin terminaaleihin. (Hokkanen ym. 2010: 137.)

Terminaalitoiminnan toiminnot ovat pääasiassa

- saapuvan tavarantoimituksen vastaanottaminen
- lämpötilan mittaus
- tuotteiden kunnon ja määrän tarkistaminen
- tavaroiden lajittelu asiakaskohtaisesti kuljetusyksiköihin
- tavaravirtojen yhdistäminen
- tavarantoimituksen valmistelu
- valmiiden kuljetusyksiköiden siirto lähetysalueelle (Omavalvontasuunnitelma 2020).

### 3 Vihivaunut

Vihivaunut (AGV, automatic guided vehicle) ovat automaattisia kuormansiirtovälineitä, jotka navigoivat ja liikkuvat ilman kuljettajaa. Vihivaunut liikkuvat lattiassa olevien teip-pausten tai johtojen, radioaaltojen, konenäkötekniikan, magneettien tai lasereiden avulla. Vihivaunujen yleisiä käyttökohteita ovat eri teollisuuden alat, erityisesti raskas teollisuus, jossa siirrettävien taakkojen paino on tonnista jopa useaan sataan tonniin. (Vihivaunut (AGV) 2020.)

Vihivaunut asettuvat joustavuudessa kiinteiden automaattioratkaisuiden ja manuaalisten kuormankäsittelyvälineiden välimaastoon. Verrattuna esimerkiksi manuaaliseen haarukkatrukkiin vihivaunut kykenevät suorittamaan ainoastaan toistuvia ja ennalta määritettyjä tehtäviä. Myös käsiteltävän tavaran on vihivaunutyypistä riippuen oltava mitoiltaan ja muodoiltaan säännöllistä. Kustannuslaskelmaa tehdessä kannattaakin huomioida, että vihivaunu ei kykene täysin korvaamaan aiemmin manuaalisesti suoritettua työtehtävää.

Jos verrataan vihivaunujärjestelmiä kiinteisiin automaattioratkaisuihin, niin etuina ovat joustavuus, eli ei juuri tarvita kiinteitä asennuksia ja järjestelmää on helppo muokata, pienemmät investointikulut sekä yksinkertaisempi ohjausjärjestelmä. (Vihivaunut (AGV) 2020.) Kun verrataan vihivaunujärjestelmää manuaalisiin kuormankäsittelylaitteisiin, niin saavutettavia etuja ovat parempi tarkkuus, tavara-, laite- ja henkilövahinkojen väheneminen, energiankäytön optimointi, työvoimaresurssitarpeen väheneminen sekä parempi materiaalivirran seuranta.

Vihivaunujärjestelmällä tarkoitetaan laajempaa kokonaisuutta, joka koostuu itse vihivaunuista, ohjausjärjestelmästä, ohjelmalogiikasta ja vihivaunuympäristöstä, johon kuuluvat käsittelypisteet, ympäristöön asennettavat lisälaitteet ja kulkureitit.

Koko ala kehittyi nopeasti, ja sen takia varsinkin suomenkielinen termistö on aika kirjava ja monella valmistajalla on omia nimityksiä eri asioille. Esimerkiksi Toyotan mukaan vihivaunu-termillä viitataan vanhempiin teknologioihin, joissa trukit seuraavat lattiaan vedettyä kaapeli-ohjausta (Vihivaunu eli automaattitrucki (AGV) 2020). Esimerkiksi Solving taas käyttää molempia nimityksiä samasta asiasta (Vihivaunut (AGV) 2020). Tässä opinäytetyössä nimitystä automaattitrucki käytetään kuitenkin selvyiden vuoksi yhtenä vihivaunutyypinä.

### 3.1 Vihivaunutyypit

**Automaattitrukit ja automatisoidut trukit** muistuttavat ulkonäöltään tavallisia manuaalisesti ohjattavia haarukkatrukkeja ja muita lavansiirtovälineitä. Ne kykenevät pääsääntöisesti siirtämään samoja kuljetusyksiköitä kuin manuaaliset lavansiirtovälineet, kuten lavoja ja rullakoita. Kuvassa 4 on yksi esimerkki automaattitrukista.



Kuva 4. Automaattitrukki (Meet F3 Design 2020)

Automaattitrukkien ja automatisoitujen trukkien ero on, että automaattitrukit on alusta alkaen suunniteltu vihivaunuiksi, kun taas automatisoidut trukit on muunnettu sarjavalmisteisista manuaalisista trukeista ja muista lavansiirtolaitteista.

Automatisoitujen trukkien etuja ovat

- valmistuksen helppous, kohtalaisen pienillä muutoksilla manuaalisista lavansiirtovaunuista
- huolto- ja varaosien hyvä saatavuus
- mahdollisuus siirtää laitteita myös manuaalisesti.

## Automaattitrukit

- on suunniteltu alusta alkaen toimimaan vihivaunuina, mikä pidentää laitteiden elinkaarta
- toimivat paremmin automaattisen latauksen ja akkujen vaihdon suhteen
- ovat kooltaan pienempiä. (Ullrich 2015: 134–135.)

Tuotantokustannusmielessä sarjavalvisteisten manuaalisten lavansiirtovälineiden etu on, että niistä pystytään tekemään automatisoituja kohtalaisen pienillä muutoksilla. Kaikissa tapauksissa tämä ei kuitenkaan ole mahdollista, sillä automaation tarvitsemat komponentit vaativat ylimääräistä tilaa, jota sarjavalvisteisissa laitteissa ei välttämättä ole. Myös vihivaunuteknologian vaatimat sensorit pitää pystyä asentamaan laitteeseen. Kuvassa 5 on esimerkki automatisoidusta trukista, jossa on tarvittaessa manuaalisen käytön mahdollistava ohjaussauva.



Kuva 5. Automatisoitu trukki (Automated warehouse trucks 2020)

**Vetotrukit** kykenevät vetämään perässään vaunua tai useampaa toisiinsa kiinnitettyä vaunua. Vetotrukki ei kykene nostamaan maassa olevia kuormia, vaan vaatimuksena vedettävälle taakoille on, että ne ovat valmiiksi renkaiden varassa. Automaattitrukkien tapaan myös vetotrukkeja on olemassa sarjavalvisteisista manuaalisista vetotrukeista muokattuja sekä alusta alkaen automaattisiksi suunniteltuja malleja. (Ullrich 2015: 136.) Kuvassa 6 on esimerkki automatisoidusta vetotrukista, johon on jätetty manuaalisen käytön mahdollistavat ohjauslaitteet.



Kuva 6. Manuaalisesta sarjavalmisteisesta vetotrukista muokattu automaattinen vetotrukki (Powerful robotic tow tractor 2020)

**Alle ajettavan vihivaunun** toimintaperiaate on, että vihivaunu ajaa siirrettävän kuorman alle ja nostaa sitä hieman siirtoa varten (Ullrich 2015: 39). Alle ajettavia vihivaunuja käytetään yleensä rullakoiden tai muiden erikseen niitä varten valmistettujen rakenteiden siirtelyyn. Lavojen siirto on myös mahdollista, mutta sitä varten lavat täytyy ensiksi nostaa esimerkiksi kuvan 7 mukaiseen kuljetuskehikkoon. Verrattuna muihin vihivaunutyyppisiin alle ajettavien vihivaunujen etuna on niiden pieni koko. Näin ollen muihin teknologioihin verrattuna saavutetaan tilansäästöä sekä ketteryyttä.



Kuva 7. Alle ajettava vihivaunu (Movexx AGV1000-UR 2020)

Amazon on maailman suurimpia alle ajettavien vihivaunujen käyttäjiä. Sen varastoissa on viimeisimpien arvioiden mukaan käytössä noin 200 000 Kiva-vihivaunua (kuva 8) (Amazon now has 200.000 robots 2020).



**Kuva 8.** Amazonin Kiva-vihivaunu (15,000 amazon kiva robots 2020)

**Piggyback-vihivaunun** (Piggyback AGV) suora käänös olisi ”reppuselkävihivaunu”, mutta sitä termiä ei ole otettu suomeksi käyttöön ainakaan Google-haun perusteella, yhtä opinnäytetyötä lukuun ottamatta. Alle ajettavan vihivaunujen tapaan piggyback-vihivaunu edellyttää, että lastattava kuorma on riittävällä korkeudella, sillä tällä tekniikalla maasta lastaaminen ilman apuvälineitä ei ole mahdollista. Tämän vihivaunutyypin etuna on kuormien hallinta vaakatasossa, sillä sen ei tarvitse tehdä käännöksiä kuten esimerkiksi tavallisen trukin. Piggyback-vihivaunu sopiikin käytettäväksi erityisesti liukuhihnoja sisältävässä automaatioympäristössä. (Ullrich 2015: 136.) Kuvassa 9 on esimerkki piggyback-vihivaunusta.



Kuva 9. Piggyback-vihivaunu (Ullrich 2015: 135)

On olemassa myös paljon muita vihivaunutyyppisiä, esimerkiksi sellaisia jotka on suunniteltu jokin siirrettävän kuorman erityispiirre mielessä, kuten siirrettävän tavaran muoto tai suuri massa. Terminaalien kautta kulkeva tavara on kuitenkin lähes poikkeuksetta standardoiduissa kuljetusyksiköissä, eli niiden käsittelylle tarkemmin ei ole tässä kohtaa tarvetta.

### 3.2 Navigointi

Nykyisin yleisimmät käytössä olevat vihivaununavigointitavat ovat heijastimiin perustuva laserkolmiomittaus ja kiinteästi asennettava induktiokaapeliohjaus, joita on korvaamassa uusi tekniikka nimeltään luonnollinen navigointi. (Mikä on automaattitrukki (AGV)? 2020.)

**Kiinteästi asennettavat johdot ja teippaukset** ovat olleet ensimmäisiä vihivaunujen navigointiin käytettyjä toteutuksia. Ensimmäinen vihivaunuksi laskettava järjestelmä on ollut käytössä jo 1950-luvulla Yhdysvalloissa, missä oli elintarvikevaraston kattoon asennettu johto, jota vetotrukki seurasi perävaunuineen. Sittemmin johtoja on asennettu lattioiden sisään ja teippauksia tehty lattian pintaan. Johtojen osalta heikkoutena ovat kuitenkin asennuksen haastavuus ja sitä kautta työläs reittien muokattavuus. Teippauksia on helpompi muokata, mutta ollessaan lattian pinnalla ovat ne alttiina kulumisille. Edellä mainituista syistä johtuen tilalle on kehitetty joustavampia ja kestävämpiä navigointiteknologioita. (History of Automated Guided Vehicles 2020.)

**Luonnollinen navigointi** on viimeisin vihivaunuihin tullut navigointitapa. Sillä tarkoitetaan, että vihivaunujen reitityksen muuttamista varten ei tarvitse tehdä fyysisiä muutoksia vihivaunuuympäristöön. Luonnollisen navigoinnin osuus vihivaunuteknologioissa kasvaa koko ajan ja on ennustettu, että se tulee lopulta korvaamaan muut teknologiat.

Luonnolliseen navigointiin liittyy olennaisesti termi SLAM (Simultaneous Localization And Mapping, yhtäaikainen paikallistaminen ja kartoitus). SLAMilla viitataan robotiikan ongelmaan, että pystyykö robotti paikallistamaan itsensä tuntemattomassa sijainnissa tuntemattomassa ympäristössä (Lin & Chen 2011: 48–49). Luonnollisen navigoinnin yleistyminen on lisännyt paljon vapautta navigoinnin toteutustapoihin, mikä taas toisaalta vaatii kehitystä vihivaunujen ohjelmistopuolella. Tästä johtuen luonnollista navigointia tarjoavien eri vihivaunuratkaisujen tarjoajien laitteistopuoli on kohtalaisen tasalaatuista, mutta tasoerot ratkaisuissa tulevat algoritmien kehittyneisyydestä. (Voster 2020.)

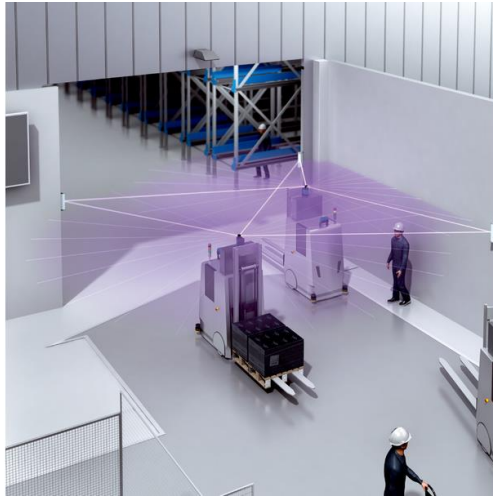
**Navigointi kiinnekohtien perusteella** ei ole varsinaisesti luonnollista navigointia, sillä se edellyttää kiinnekohtien asentamista lattiaan navigointia varten. Vihivaunu havaitsee sijaintinsa kiinnekohtien ja laskelmasuunnistuksen (dead reckoning) avulla, eli se yhdistää siirtymän jälkeen alkuperäisen lähtöpaikan kuljettuun matkaan, suuntaan ja käytettyyn aikaan. (Vehicle Navigation 2020; Ullrich 2015: 103.)

Jos reititys on tiedossa eikä sitä ole tarvetta muuttaa, voidaan kiinnekohdat asentaa ainoastaan vihivaunureiteille. Vaihtoehtoisesti kiinnekohdat voidaan asentaa ruudukoksi, jolloin reititys on muokattavissa koko ruudukon alueella. Kiinnekohdat voivat olla joko kestopagneetteja tai transpondereita ja ne asennetaan yleensä palveluntarjoajasta riippuen 1...10 metrin etäisyydelle toisistaan. (Ullrich 2015: 103.)

**Lasernavigointi peilien avulla** on nykypäivänä yleisimmin käytössä oleva teknologia. Vihivaunulaitteiden muistiin on ladattu pohjapiirustus toiminta-alueesta, jolle vihivaunut paikantavat itsensä niissä olevan lasertutkan ja ympäristöön asennettujen peilien avulla (Types of Navigation Technology 2020). Verrattuna navigointiin meriliikenteessä voi peilien ajatella olevan majakoita, joiden perusteella laiva, eli tässä tapauksessa vihivaunu, havaitsee sijaintinsa ja jatkaa suunnistamista.

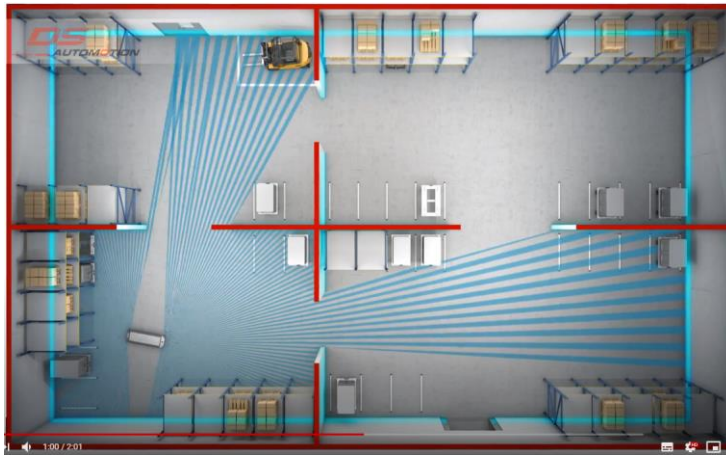
Lasernavigoinnin etuna on periaatteessa vihivaunujen reitityksen helppo muokattavuus, mikä on kuitenkin paljolti kiinni vihivaunujen mukana toimitettavasta ohjausjärjestelmästä

ja sen käytettävyydestä. Lisäksi paikantamiseen asennettavien peilien asentaminen on kohtalaisen helppoa. Peileistä vähintään kaksi pitää olla näkyvissä vihivaunulle, että sen toiminta ei häiriinny. Tästä syystä ongelmia voi muodostua, jos vihivaunuympäristössä on paljon muutoksia ja peilit peittyvät esimerkiksi muulla tilassa käsiteltävällä tavaralla. Havainnekuvassa (kuva 10) on esitetty, kuinka vihivaunut tarvitsevat näköyhteyden ympäristöön sijoitettuihin peileihin.



Kuva 10. Lasernavigointi peilien avulla (Navigation in the warehouse with navigation scanners 2020)

**Vapaalla lasernavigoinnilla** (contour navigation) tarkoitetaan navigointia ympäristön kiinteiden rakenteiden perusteella, jolloin vihivaunu ympäristöön ei tarvitse asentaa peilejä. Peruseriaate on, että toiminta-alueen tyhjä kartta voidaan ladata etukäteen vihivaunujen muistiin, tai ne voivat vaihtoehtoisesti tehdä kartoituksen myös itse kiertämällä alueen läpi ennen varsinaisia työkomentoja. Tämän jälkeen vihivaunut havainnoivat niissä olevalla laserilla ympäristössään tapahtuvia muutoksia sekä omaa sijaintiaan ja vertaavat saatua dataa alkuperäiseen karttaan. (SLAM and Navigation in Indoor Environments 2020) (Maximizing your logistic performance 2020.) Kuvassa 11 on esimerkki siitä, kuinka vihivaunu liikkuu toimintaympäristössään ja vertaa jatkuvasti etäisyyksiä ympäristön esteisiin sekä omaan sijaintiinsa.



Kuva 11. Vihivaunu havainnoimassa ympäristöään varastossa (Maximizing your logistic performance 2020)

**GPS-navigointi** tarkoittaa, että vihivaunut paikallistavat itsensä satelliittien avulla. Samaa teknologiaa käytetään esimerkiksi autoissa ja matkapuhelimissa. GPS-navigoinnin heikkouksia on, että se toimii huonosti sisätiloissa ja paikannus on epätarkkaa, jopa 10 metrin virhemarginaalilla (Comparison of 11 different types of AGV navigation methods 2020). Vihivaunut voivat navigoida myös ympäristöön asennettavien paikannuslaitteiden avulla, mikä lisää tarkkuutta (Ullrich 2015: 110). GPS-navigointi soveltuukin parhaiten käytettäväksi esimerkiksi ulkotiloissa, kuten satama-alueilla.

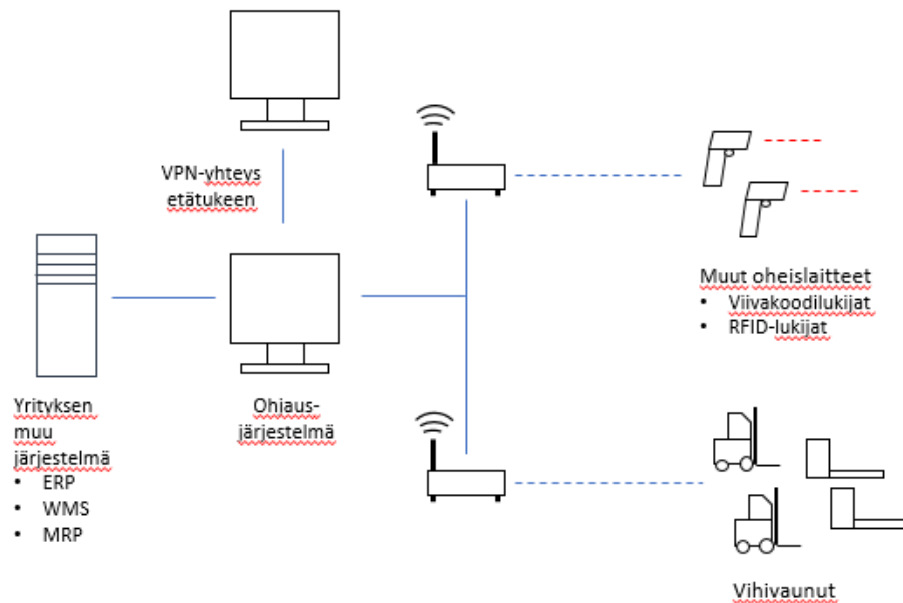
### 3.3 Vihivaunujen ohjausjärjestelmät

Vihivaunut eivät ole täysin automaattisia, eivätkä ne yleensä itse muodosta käskyjä liikkumisestaan, vaan ne tarvitsevat ohjausjärjestelmän, jonka avulla ne kommunikoivat ympäristönsä ja toisten vihivaunujen kanssa. Vihivaunuista täytyy olla yhteys myös käyttäjäyrityksen muihin järjestelmiin, kuten varastohallinta- (WMS, Warehouse Management System), materiaalinohjaus- (MRP, Material Requirements Planning) ja tuotannonohjausjärjestelmiin (ERP, Enterprise Resource Planning) saadakseen komennot ja tarvittavan tieto prosessista. (Ullrich 2015: 124.)

Joissakin tapauksissa, kun vihivaunut toteuttavat ennalta määrättyjä komentoja muuttumattomassa ympäristössä, ei ohjausjärjestelmää tarvita. Tässä tapauksessa tarvitaan ihmistä osaksi operoimaan vihivaunuja. Esimerkkinä Ullrich käyttää järjestelmää, jossa

vihivaunu liikkuu paikasta A paikkaan B kuorman kanssa, ja kun kuorma on purettu, painaa käyttäjä kytkintä, joka antaa tyhjälle vihivaunulle käskyn palata paikkaan A. Tällainen toteutus alentaa järjestelmän kustannuksia, mutta heikentää sen muokattavuutta. (Ullrich 2015: 122.)

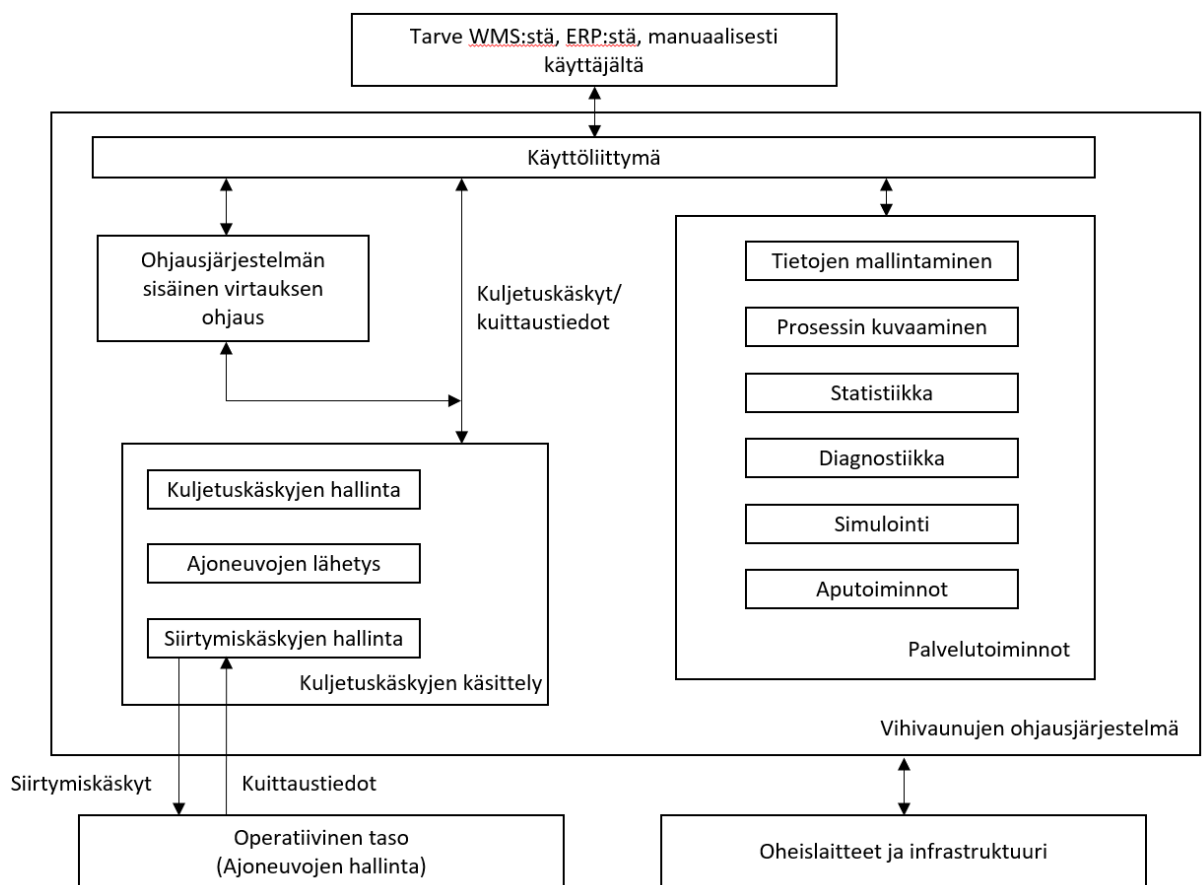
Ohjausjärjestelmä luo visuaalisen käyttöliittymän, jolla käyttäjä pystyy ohjaamaan viihivaunuja sekä suunnittelemaan niiden reittejä toiminta-alueella. Kuvassa 12 on nähtävissä, että ohjausjärjestelmä on kytkettynä muihin käyttäjäryityksen järjestelmiin langallisesti LAN-verkon kautta, kun taas yhteys vihivaunuihin ja muihin oheislaitteisiin on käytettävyyden takia toteutettu langattomasti WLAN-verkkojen avulla. (Ullrich 2015: 122.) Osa palveluntarjoajista tarjoaa ohjelmistoja, joissa on ohjausjärjestelmän lisäksi myös varastohallinta, esimerkiksi Rocla (Thinking ahead intelligently 2020).



Kuva 12. Esimerkki ohjausjärjestelmän sijainnista IT-kartalla (mukailtu Ullrich 2015: 123)

### 3.4 Ohjausjärjestelmän sisältö

Vihivaunujen ohjausjärjestelmän pääasiallinen tehtävä on toteuttaa kuljetuskäskyjä. Alkuperäinen tarve voi muodostua monella tapaa, esimerkiksi ERP:ssä olevasta materiaa-  
lintarpeesta tai käyttäjän manuaalisesti syöttämästä käskystä. (Ullrich 2015: 126–127.)  
ERP:ssä syntynyt tarve voi olla esimerkiksi, että ”tuotetta A tarvitaan käsittelypisteellä  
B”, joka ohjausjärjestelmän pitää vastaavasti pystyä muuntamaan vihivaunujen ymmär-  
tämään muotoon ”siirrä lava C paikkaan D” (Ullrich 2015: 125). Kuvassa 13 on nähtä-  
vissä, mitä toimintoja yleensä on vihivaunujen ohjausjärjestelmässä, sekä tiedonkulun  
periaate.



Kuva 13. Ohjausjärjestelmän sisältö (mukailtu Ullrich 2015: 126)

Kuljetuskäskyjen käsittelyssä kuljetuskäskyjen hallinta ottaa vastaan kaikki kuljetuskäskyt ja järjestää ne prioriteetin mukaan sekä tarkistaa jatkuvasti niiden toteuttamiskelpoisuutta. Jos kuljetuskäsky on valmis toteutettavaksi, se siirtyy ajoneuvojen lähetykseen ja tieto tästä välittyy olennaisille palvelutoiminnoille.

Ajoneuvojen lähetys etsii soveltuvimman vihivaunun, joka on vapaana, tai vapautumassa. Etsinnän tuloksen perusteella kuljetuskäsky siirtyy eteenpäin siirtymiskäskyjen hallintaan. Soveltuvimman vihivaunun valintaan voidaan käyttää monia eri kriteerejä, yksinkertaisimpana ratkaisuna voidaan valita sattumanvarainen vapaa vihivaunu. Kehittyneemmissä järjestelmissä käytetään kriteereinä kuitenkin esimerkiksi

- lyhintä aikaa tai matkaa kuljetuskäskyn aloituspaikkaan
- reittien ruuhkaisuutta
- mahdollisuutta yhdistellä lastauksia tulevien kuljetuskäskyjen perusteella
- tai vihivaunujen akkujen varaustasoa. (Ullrich 2015: 127–128.)

Siirtymiskäskyjen hallinta luo siirtymiseen tai muihin vihivaunun toimintoihin liittyvistä käskyistä sarjan kuljetuskäskyjen perusteella. Siirtymiskäskyjen hallinta vastaa reaaliaikaisesti vihivaunujen sujuvasta liikkumisesta huomioiden muodostuvat ruuhkapaikat ja pyrkii estämään törmäykset ja tukokset. (Ullrich 2015: 128.)

### 3.5 Palvelutoiminnot ohjausjärjestelmässä

Tässä insinööriyössä läpi käydyt palvelutoiminnot ovat esimerkkejä siitä, mitä palvelutoimintoja vihivaunujen ohjausjärjestelmä voi sisältää. Vihivaunujen palveluntarjoajilla on yleensä oma ohjausjärjestelmänsä, joten variaatioita palvelutoiminnoista on monia.

Tietojen mallintaminen on koko järjestelmän tietokanta. Se sisältää tiedot toiminta-alueesta, kulkureiteistä, alueella olevista esteistä, lastaus- ja purkupaikoista, latauspisteistä ja niin edelleen. Riippuen vihivaunujen tyypistä ja navigointitavasta on tietojen mallintamisessa tiedot myös esimerkiksi lasernavigoinnin vaatimista toiminta-alueelle asennettavista peileistä. (Ullrich 2015: 129.)

Prosessin kuvaaminen tuottaa näkymän järjestelmän tilasta ja toimii lisäksi alustana muiden toimintojen väliselle keskustelulle. Se raportoi mahdolliset virheet eri toimintojen välisessä toiminnassa ja tukee mahdollisesti etänä suoritettavaa virheenkorjausta. (Ullrich 2015: 129.)

Statistiikka tuottaa tietoa ja analysoi materiaalivirtaa sekä arvioi vihivaunujärjestelmän kapasiteetin hyödyntämistä. Yleensä vihivaunut keräävät itse jonkin verran dataa, jonka ne toimittavat ohjausjärjestelmässä statistiikalle analysoitavaksi. Esimerkiksi, jos jokin yksittäinen vihivaunu raportoi jatkuvasti saman tunnistimen toimimattomuudesta, voidaan se statistiikan avulla todeta vialliseksi tai väärin säädetyksi. (Ullrich 2015: 129–130.)

Diagnostiikka on järjestelmässä olevien ongelmien tunnistamista ja korjaamista varten. Se mahdollistaa vikaraporttien tuottamisen sellaisessa muodossa, että korjauksia järjestelmään on mahdollista tehdä jopa etänä. (Ullrich 2015: 130.)

Aputoiminnot sisältävät ohjausjärjestelmän käyttöön tarvittavan dokumentoinnin. Dokumentointiin sisältyvät esimerkiksi käyttöohjeet, järjestelmätiedot sekä huolto- ja korjausohjeet. Sähköinen dokumentointi helpottaa ja nopeuttaa esimerkiksi vianetsintää. (Ullrich 2015: 130–131.)

Simulointityökaluilla voidaan arvioida toiminnan muutosten vaikutusta vihivaunujärjestelmän toimintaan, ennen kuin muutoksia on tehty. Toiminnan muutoksilla tarkoitetaan esimerkiksi vihivaunujen määrän tai reitityksien muuttamista. Kehittyneemmät ohjausjärjestelmät voivat tarjota mahdollisuuden kokonaisten vihivaunujärjestelmäprojektien laskentaan, josta on hyötyä esimerkiksi tarjouslaskentaa varten. (Ullrich 2015: 131.)

### 3.6 Vihivaunujen turvallisuus

Vihivaunujen valintaa terminaalin tehtäessä turvallisuus nousee erittäin tärkeäksi tekijäksi. Terminaalissa on kiireisimpään vuorokauden aikaan paljon yrityksen omaa henkilökuntaa ja lisäksi ulkopuolisten yritysten henkilöstöä, joiden opastusta vihivaunujen suhteen on huomattavasti hankalempi hallita.

Ullrichin (Ullrich 2015: 118) mukaan noudatettavat minimistandardit turvallisuudelle ovat kuljettajattomien trukkien turvallisuuteen liittyvä DIN EN 1525 ja koneturvallisuuteen liittyvä DIN EN 954-1. Olennaisimmat vihivaunujen varusteet näiden standardien perusteella ovat seuraavat:

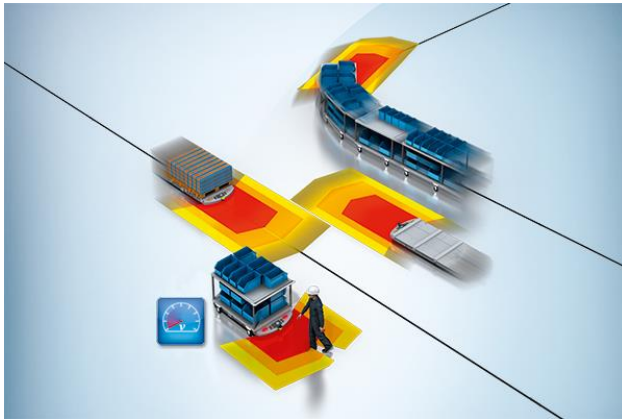
- Hätä-seis-painike, jonka on oltava helposti tunnistettavissa ja saavutettavissa. Hätä-seis-painike kytkettynä laitteen on pysähdyttävä välittömästi ja pysyttävä liikkumattomana kunnes painike nollataan,
- Liikkumista ilmaisevat varoitusvalot sekä äänimerkit vihivaunu ympäristössä olevien ihmisten huomion kiinnittämiseksi. Valojen ja äänimerkin tulee lisäksi ilmaista vihivaunun suunnanmuutos,
- Mekaaniset, itsenäisesti toimivat jarrut pysähtymistä varten. Jarrujen tulee olla suunniteltuna siten, että ne tarvitsevat sähköä ollakseen epäaktiivituina. Tulee myös ottaa huomioon, että jarrut ovat riittävät pysäyttämään vihivaunut täydellään kuormalla,
- Potkupellit vihivaunujen alaosassa estämässä esineiden tai ihmisten yliajamista,
- Henkilöntunnistusjärjestelmä, joka voi olla joko mekaaninen tai toimia ilman kosketusta sensoreiden avulla. Järjestelmän täytyy tunnistaa vihivaunun reitillä olevat ihmiset ja esteet, ja pysähtyä, ennen kuin aiheutuu onnettomuuksia tai vahinkoja. Jos käytetään mekaanista järjestelmää, niin ihmiseen tai esineeseen kohdistuva voima ei saa ylittää 750 N:a ja vihivaunun täytyy sammua kosketuksen jälkeen.

Kahdella ensimmäisellä vihivaunuaikakaudella henkilöstön turvallisuus ratkaistiin mekaanisilla, kosketusta vaativilla ratkaisuilla, kuten vaijerista tehdyillä puskureilla ja myöhemmin pehmeillä vaahtomuovipuskureilla. Nykyään vihivaunuissa on useimmiten käytössä ilman kosketusta toimivia turva-antureita. (Ullrich 2015: 119.)

Kuvassa 14 on esimerkki turva-anturista. Sen toiminta on kuvan 15 mukaista, eli kun ihminen tai muu este on sen suoja-alueella keltaisella tai oranssilla alueella, vihivaunu hidastaa vauhtia ja punaisella pysähtyy kokonaan. Suoja-alueen koko riippuu anturista; kuvassa 14 olevalla anturilla sen säde on 7 metriä. (Ullrich 2015: 120.) Antureilla on myös muita toimintoja: ne tuottavat muun muassa dataa, jonka avulla vihivaunut parantavat kuormankäsittelyä ja tarkentavat navigointiaan (Thinking ahead intelligently 2020).



Kuva 14. Turva-anturi (Thinking ahead intelligently 2020)



Kuva 15. Havainnollistus turva-antureiden toiminnasta (Thinking ahead intelligently 2020)

Ainakaan toistaiseksi ei vihivaunujen turvajärjestelmiä ole saatu niin varmoiksi, että kaikilta onnettomuuksilta välttyttäisiin pelkkien laiteratkaisujen avulla. Ullrichin (2015: 156) mukaan onkin tärkeää, että erityisesti alueilla, joilla vihivaunut siirtävät kuormaa noudattaisiin erityistä varovaisuutta ja, jos mahdollista, kielletäisiin liikkuminen kokonaan. Kuitenkin siinä tapauksessa, kun tämä ei ole mahdollista voidaan alueella liikkuvien ihmisten turvallisuutta parantaa merkitsemällä vaara-alueet, turvakaiteilla ja -levyillä sekä vihivaunujen varoitusvaloilla ja äänimerkeillä. Turvallisuutta voidaan lisätä myös asentamalla potentiaalisesti vaarallisiin paikkoihin, kuten risteyskohtiin, liikennevaloja ja parabolisia peilejä.

Ullrich (2015: 121) painottaa, että vihivaunujen tunnistussensoreilta vaaditaan yhä enemmän johtuen siitä, että yleiseen turvallisuuteen kiinnitetään enemmän huomiota, vaatimukset laitteita kohtaan ovat kasvussa ja käyttökohteiden, joissa liikkuu ulkopuolista työvoimaa, määrä on kasvussa. Lisäksi pitää kiinnittää huomiota, että vihivaunujärjestelmien turvallisuusohjeistuksessa on otettu huomioon myös ulkopuolinen työvoima.

Asiakaskerättyjen yksiköiden siirtelyn turvallisuutta lisää se, ettei kuormaa tarvitse nostaa kuin sen verran, että niitä saadaan liikutettua. Tämä lisää jo itsessään turvallisuutta verrattuna esimerkiksi siihen, että lavoja tarvitsisi nostaa päällekkäin tai hyllyihin.

Kaikki vihivaunuteknologioiden toimittajat vakuuttavat vihivaunujen olevan turvallisempia kuin vastaavat manuaaliset lavansiirtovälineet. Tästä ei kuitenkaan ollut saatavilla tilastotietoa väitteitä tukemaan. Jonkinlaisen käsityksen saa kuitenkin, kun verrataan tavallisilla henkilöautoilla aiheutettuja onnettomuuksia robottiautoilla tapahtuneisiin onnettomuuksiin. Vuosien 2009 ja 2014 välillä Yhdysvalloissa tehdyn tutkimuksen mukaan tavalliset henkilöautot olivat osallisina onnettomuuksissa 4,2 kertaa miljoonaa mailia kohden, kun taas vastaava luku robottiautoille oli 3,2. Tämän perusteella olisi 31 % todennäköisempää joutua onnettomuuteen tavallisella henkilöautolla kuin robottiautolla. (Blanco ym. 2020: 4.)

### 3.7 Akkuvaihtoehdot

Yleisimmin vihivaunujen käyttövoimana on akku, mutta ulkotiloissa käytettäessä ja suuria kuormia siirrettäessä myös dieselkäyttöinen polttomoottori on mahdollinen vaihtoehto. Ullrichin (2015: 141) mukaan vihivaunuissa käytetään useimmiten lyijyhappo-, geeli- ja nikkelikadmiumakkuja. Lisäksi hän mainitsee modernimmat vaihtoehdot nikkeli-metallihybridi- ja litiumioniakut, mutta ne eivät vastaa hänen mukaansa teknologisia standardeja. Akkujen kehitys on kuitenkin jatkuvaa esimerkiksi autoteollisuuden saralla, minkä vuoksi on järkevää ottaa myös modernimmat akkuvaihtoehdot mukaan vertailuun.

Taulukko 1. Yleisimpien vihivaunuakkutyypin vertailu (Berg 2015: 37, 43, 45, 52)

	Lyijyhappo	Nikkeli-kadmium	Nikkeli-metalli-hybridi	Litiumioni
Ominaisenergia (Wh/kg)	30–50 käytöstä riippuen	45–80	65	140
Energiatiheys (Wh/l)	54–95	70–90	~150	250–620
Ominaissteho (W/kg)	~250	~125	200	300–1500
Elinkaaren latauskerrat (kpl)	1200–1500	1200–2500	~1000	Yli 1000
Latausaika	8 h (mahdollisuus 90 %:n lataukseen 1 h:ssa)	1 h (mahdollisuus 60 %:n varaukseen 20 min:ssa)	1 h (mahdollisuus 60 %:n varaukseen 20 min:ssa)	2–3 h (mahdollisuus 80 %:n varaukseen 1 h:ssa)

Taulukon 1 luvut ovat suuntaa-antavia, koska käytötavalla on suuri merkitys akkujen suorituskykyyn (Berg 2015: 47).

**Lyijyhappoakut** ovat toistaiseksi suosituin akkuvaihtoehto sähköisissä ajoneuvoissa sekä myös polttomoottoriajoneuvoissa käynnistysakkuna (Berg 2015: 36). Lyijyhappoakut ovat myös suosituin akkuvaihtoehto vihivaunuissa (Ullrich 2015: 150). On olemassa myös lyijyhyytelöakkuja, jotka ovat huoltovapaampia muun muassa sen ansiosta, ettei niihin tarvitse lisätä tislattua vettä.

Lyijyhappoakku on keksitty jo vuonna 1859, joten sillä on pitkä kehityshistoria takanaan (Dell ym. 2001: 100). Syitä lyijyhappoakkujen suosioon ovat sen suhteellisen korkea avoimen piirin jännite (2,1 V), edullinen hinta, monipuolisuus sekä sähkökemiallisen parin palautuminen. Lyijyhappoakun heikkouksia ovat suuri massa, huono suoriutuminen kylmissä olosuhteissa ja taulukon 1 mukainen pitkä latausaika. (Dell ym. 2001: 104.)

Nikkeli-kadmiumakut ovat teollisessa käytössä toiseksi eniten käytetty akkutyypin lyijyhappoakkujen jälkeen. Verrattuna lyijyhappoakkuihin nikkelikadmiumakkujen hyviä puolia ovat parempi käytettävyys, parempi kylmänkestävyys, tasainen jännitteen purkautuminen sekä taulukon 1 mukainen mahdollisuus pitempään käyttöikänsä. Heikkouksia ovat korkea hinta sekä akkua hävitettäessä ympäristölle vaaralliset aineet. (Dell ym. 2001: 133.)

**Nikkeli-metallihybridiakkujen** toimintajännite, 1,2–1,3 V, on hyvin lähellä nikkeli-kadmiumakkujen toimintajännitettä, minkä ansiosta akut ovat keskenään vaihtokelpoisia ja lisäksi jännitteenpurkautuminen on melko tasaista. Taulukosta 1 nähdään että nikkeli-metallihybridiakun kapasiteetti on huomattavasti suurempi kuin nikkeli-kadmiumakun. (Dell ym. 2001: 137.)

**Nikkeli-metallihybridiakun** hyviä puolia ovat yllätauksen ja -purkautumisen kestävyys, laaja käyttölämpötila-alue  $-30\text{ °C}$ :sta  $+45\text{ °C}$ :seen sekä akun valmistuksessa käytettävien materiaalien ympäristöystävällisyys. Heikkouksia ovat korkea hinta, nikkeli-kadmiumakua nopeampi purkautuminen itsestään ja huono virranvastaanottavuus korkeissa lämpötiloissa. (Dell ym. 2001: 140.)

**Litiumakut** ovat suhteellisen uusi keksintö, sillä Sony julkisti ensimmäiset litiumakut vuonna 1991 (Dell ym. 2001: 150). Litiumakkuja on useita erilaisia, esimerkiksi litiummetalli-, litiumioni-, litiumioni-polymeeri-, litium-happi- ja litium-rikkiakkuja. Tässä opinäytetyössä keskitytään kuitenkin ainoastaan litiumioniakkuihin, koska ne ovat huomattavasti muita litiumakkuja yleisempiä. (Berg 2015: 58.)

Litiumioniakkujen hyviä puolia ovat taulukon 1 mukaisesti ominaisenergia, ominaisteho ja energiatiheys. Akkujen elektrolyytti voi olla korkeissa lämpötiloissa epävakaata, joten riskien vähentämiseksi useimpiin akkuihin on asennettuna suojapiiri tämän estämiseksi. Litiumioniakkujen odotetaan ohittavan perinteiset lyijyakut suosiossa, kunhan niiden hinta saadaan kilpailukykyisemmäksi. (Dell ym. 2001: 153.)

### 3.8 Akkujen lataus

Vihivaunujen latausten suunnittelulla voi olla merkittäviä vaikutuksia tuotannolliseen tehokkuuteen sekä kannattavuuteen. Jos latausta ei ole tehokkaasti suunniteltu, se voi kasvattaa vihivaunujen määrää turhaan, mikä taas aiheuttaa ruuhkia (Zhan ym. 2019: 1). Toisaalta on olemassa myös olosuhteita, joissa pitkistä latausajoista ei ole välttämättä haittaa, jos ne saadaan sovitettua järkevästi yhteen tuotannossa muutenkin olevien taukojen kanssa.

Yleisimmät vihivaunujen lataustavat ovat perinteinen ajoakun lataus latauspisteellä, langaton energiansiirto sekä hybridilataus, joka yhdistelee kahta edellistä tapaa (Ullrich 2015: 150). Langaton energiansiirto perustuu induktiolataukseen, joka edellyttää, että vihivaunujen kulkureiteillä lattian sisään asennetaan johtimet. Langaton lataus ei edellytä vihivaunuilta kosketusta lattiaan, mikä taas vähentää osien kulumista. (Ullrich 2015: 152.) Hybridilatauksella toimivissa vihivaunuissa on langattomalla latauksella ladattava lisäakku, joka mahdollistaa vihivaunun liikkumisen myös latausverkon ulkopuolella (Ullrich 2015: 153–154).

Tuotannon vaatimusten ja erityisesti lyijyhappoakkujen pitkän latausajan johdosta voi muodostua tarve myös akunvaihtomahdollisuudelle. Akunvaihdon vihivaunuille voi tehdä joko automaattisesti tai manuaalisesti. (AGV Automated Guided Vehicles Battery charging solutions: 2020.)

## 4 Vihivaunujen soveltuvuus terminaalitoimintaan

Poikkeuksena normaalisti vihivaunuteknologioita käyttäviin tiloihin terminaalissa ovat vo-lyymivaihteluista johtuva ajoittainen tilanahtaus, alueen jatkuva muuttuminen, kulku-väylillä liikkuvat ihmiset sekä koneet ja kohtalaisen lyhyet siirtomatkat. Edellä mainitut asiat on otettava huomioon vihivaunutoimittajien ratkaisuja vertailtaessa. Pääasiassa et-sinnässä on mahdollisimman vähän tilaa vaativa ja ympäristön muutoksia huomioiva rat-kaisu.

### 4.1 Vihivaunut terminaalitoiminnassa

Koska terminaalissa käsiteltävä tavara on valmiiksi kuljetusyksiköissä, rajaa se pois mo-nia vihivaunutyyppejä ja potentiaalisimmiksi vaihtoehtoiksi jäävät automaattitrukit ja au-tomatisoidut trukit. Näitä kahta on haastavaa laittaa paremmuusjärjestykseen, vaan va-linta on tehtävä kunkin automatisoitavan tehtävän mukaan vertaamalla kunkin teknolo-gian hyviä ja huonoja puolia. Onko hyötyä vai haittaa siitä, että laitteita voidaan tarvitta-essa siirtää manuaalisesti? Millainen on kunkin valmistajan huolto- ja varaosaverkosto? Mikä on riittävä taso? Vastauksia näihin saadaan tapauskohtaisesti analysoimalla kukin vihivaunujen suunniteltu käyttökohde muun muassa yrityksen muiden toimintojen ja yri-tyskulttuurin osalta.

Myöskään vihivaunupalveluntarjoajien haastattelujen (liite 1) perusteella ei ole järkevää alkaa muuttamaan terminaalin toimintaperiaatetta vihivaunujen ehdoilla, vaan sopivin valinta vihivaunutyypiksi olisi joko automaattitrukki tai automatisoitu trukki. Haastattelu-jen perusteella automaattisten vetotrukkien käyttö olisi mahdollista valmiiksi renkailla olevien kuormien, kuten tukkurullakoiden, siirtelyssä. Vetotrukit eivät kuitenkaan kykene lastaamaan tai purkamaan siirtämäänsä kuormaa, vaan kuorman kiinnitykseen ja irrot-tamiseen vaaditaan aina ihminen. Lisäksi yli puolet terminaalissa käsiteltävästä tava-rasta on erilaisten lavojen päällä, joten näistä syistä vetotrukit eivät ole järkevä vaihto-ehdo vihivaunutyypiksi terminaalitoimintaan (Pasanen 2020). Muita yhteneväisyyksiä haastatteluissa olivat suositus luonnollisesta navigoinnista navigointitapana johtuen muuttuvasta toimintaympäristöstä sekä akkuvaihtoehtona litiumioniakut nopeiden la-taussyklensä ansiosta. Useat palveluntarjoajat kiinnittivät huomiota myös toimintaympä-ristön lattian kuntoon, sillä suurin osa vihivaunujen komponenttien rikkoontumisesta oli

muissa vihivaunujen käyttökohteissa tapahtunut lattian epätasaisuuksien aiheuttamasta tärinästä.

#### 4.2 Tilaajayrityksen henkilökunnan haastattelut

Liitteessä 1 henkilökunnalle esitettyjen kysymysten perusteella saatiin käsitys automatisoitujen toimintojen nykytilasta. Terminaalissa siirrettään paljon raskaita taakkoja, joissa käytetään apuna manuaalisesti ohjattavia sähkökäyttöisiä haarukkatrukkeja sekä lavansiirtovaunuja. Lisäksi terminaalissa on sähkökäyttöisiä pahvi- ja palautuspullo- ja -tölkki-paalaimia. Kaikki näiden sähkökäyttöisten koneiden suorittamat työvaiheet tapahtuvat kuitenkin erikseen käyttäjän komentoista, eli terminaalissa ei toistaiseksi ole automatisoituja toimintoja. (Pasanen 2020). Työvoiman vapauttaminen muihin tehtäviin nähtiin haastatteluiden perusteella mahdolliseksi, jos vihivaunut saadaan toimimaan suunnitellusti tässä insinööriyössä tehdyn laskelman mukaisesti. Riskeinä työvoiman vapautumiselle nähtiin erityisesti terminaalin ajoittainen tilanahtaus, vihivaunujen tekoälyn riittävyys muuttuvaan toimintaympäristöön sekä reitityksen muuttamisen helppous. (Pasanen 2020, Karpinski 2020)

#### 4.3 Turvallisuus

Lähdemateriaalien ja palveluntarjoajien tietojen perusteella EN 1525 –standardi vaikuttaisi olevan laajalti käytössä, eikä sen noudattamisessa paljastunut suurempia eroja. Turvallisuuden kannalta olennainen huomioitava asia on kuormansiirto, koska pystyäkseen esimerkiksi lastaamaan lavan, joutuu vihivaunu kytkemään pois päältä joitakin turvaominaisuuksia. Suunnitellussa asiakasyksiköiden siirrossa noin puolet vihivaunujen liikkumisesta olisi kuormansiirtoa, minkä takia ei ole mahdollista, että samassa tilassa ei liikkuisi ihmisiä. Tästä syystä on erittäin tärkeää, että vihivaunuteknologiaa valittaessa kiinnitetään huomiota laitteiden turvallisuusominaisuuksien riittävyyteen jatkuvasti muuttuvassa ympäristössä. Samasta syystä tärkeitä asioita ovat myös lattiamerkinnät, erityisten vaara-alueiden korostaminen sekä vihivaunujen toiminta-alueesta ilmoittaminen esimerkiksi kylteillä. Myös oman ja vieraan henkilökunnan koulutukseen vihivaunujen toiminnasta ja turvaominaisuuksista on syytä kiinnittää huomiota.

#### 4.4 Vihivaunujen ohjausjärjestelmä

Eri palveluntarjoajien ohjausjärjestelmät vaikuttavat toimivan kohtalaisen samantapaisesti, kuten kohdassa 3.3 käsiteltiin. Jotkut palveluntarjoajista myyvät myös laajempia kokonaisuuksia sisältäen esimerkiksi varastonhallintaa ja muita ominaisuuksia. Olennaisin kysymys on kuitenkin, että tarvitaanko ohjausjärjestelmää ylipäätään.

Ohjausjärjestelmää ei välttämättä tarvita, jos vihivaunun ei tarvitse kommunikoida muiden vihivaunujen kanssa. Periaatteessa kohdassa 4.6 käsiteltävän siirtomatkan perusteella vihivaunuja ei tarvita asiakasyksiköiden siirtoon kuin yksi kappale. Kun kuitenkin otetaan huomioon, että vihivaunulta vaaditaan muokattavuutta etenkin reitityksen osalta sekä halutaan säilyttää vihivaunujärjestelmän laajennettavuus, niin myös ohjausjärjestelmän hankinta on perusteltua.

Ohjausjärjestelmän toimivuuden edellytys on vahva WLAN-yhteys. Tällä hetkellä kiinteistössä on asiakkaan WLAN-verkko, mutta on järkevää selvittää myös mahdollisuudet oman tai palveluntarjoajan WLAN-verkon pystyttämiseen. WLAN-yhteyden kantavuuden varmistamiseksi on hyvä huomioida, ettei vihivaunujen toiminta-alueen rajaava väliseinä aiheuta katvealueita.

Lisäksi on syytä ottaa huomioon, että kahden eri vihivaunupalveluntarjoajan järjestelmät eivät toimi yhdessä. Palveluntarjoajan vaihtamisesta aiheutuvien ylimääräisten kulujen ehkäisemiseksi on hyvä olla jo palveluntarjoajaa valittaessa käsitys siitä, mihin toimintoihin järjestelmää aiotaan jatkossa laajentaa.

#### 4.5 Akut ja lataus

Akkuvaihtoehtoja on kirjallisuuden ja palveluntarjoajien valikoiman perusteella useita. Yleisimpänä vaihtoehtona ovat edelleen lyijyhappoakut niiden suosion perustuen lähinnä teknologian halpuuteen ja pitkään historiaan. Lisäksi lyijyhappoakkujen painosta on hyötyä vastapainon muodossa, kun trukeilla nostetaan raskaita taakkoja. Toinen jatkuvasti yleistyvää akkuteknologia ovat litiumioniakut, joiden hyviä puolia ovat keveys, latauksen nopeus sekä energiatehokkuus.

Olennaisinta on kuitenkin, että akkutyypin valinta tehdään suunnitellun toiminnan perusteella, eli varmistetaan lataussykliä ja -aikojen, akunkeston ja muiden ominaisuuksien sopivuus tuotantoon. Terminaalitoiminnan näkökulmasta litiumioniakku vaikuttaisi ominaisuuksiensa puolesta sopivimmilta ratkaisulta. Sen hyvät energiatehokkuusarvot mahdollistavat myös vihivaunujen pienemmän koon, toki jossakin määrin akunkeston kustannuksella.

Lyijyhappoakkujen pitkästä latausajasta johtuen myös akunvaihtomahdollisuus tulee jossain vaiheessa tarpeelliseksi, jos vihivaunujen käyttöaste halutaan pitää korkeana. Akunvaihtopisteet vievät kuitenkin tilaa terminaalista, joka ei ole terminaalin toimintaperiaatteen mukaista.

#### 4.6 Käyttöympäristö

Tärkeimmät huomioitavat asiat käyttöympäristöstä ovat lattian kunto sekä alueella liikkuvat ihmiset ja esteet. Vihivaunut sisältävät paljon kehittyneitä ja kalliita osia, jotka voivat vahingoittua esimerkiksi lattian epätasaisuuksista johtuvasta värinästä. Laitevahingot taas voivat aiheuttaa esimerkiksi äkkipysäyksiä, joista saattaa seurata vaaratilanteita. Myös toiminta-alueen lattioiden puhtaana ja kuivana pitäminen on tärkeää vihivaunujen toiminnan kannalta, sillä esimerkiksi kertynyt lika voi häiritä vihivaunujen toimintaa. Lisäksi vihivaunut kulkevat lähtökohtaisesti toistuvasti samoja reittejä, mikä asettaa lattian toistuvalla kulutuksella juuri kulku-urien kohdalta.

Yleinen suositus palveluntarjoajien näkökulmasta vaikuttaa olevan, ettei vihivaunujen toimintaympäristössä liikkuisi ihmisiä. Tämä on kuitenkin terminaaliprosessi huomioiden mahdoton vaatimus. Tämän johdosta on syytä kiinnittää huomiota palveluntarjoajaa valittaessa erityisesti siihen, miten ympäristön muutosten huomiointi ja turva-asiat ovat huomioitu heidän laitteissaan. Samasta syystä myös henkilöstön koulutus alusta alkaen vihivaunujen kanssa toimimiseen on tärkeässä osassa.

Vihivaunujen sujuvan toiminnan edellytyksenä on, että niiden käsiteltäväksi tulevat lavat sijaitsevat tarkasti oikealla paikalla. Esimerkiksi teippaukset lattiassa Bload-alueella (kuva 16) osoittamassa lavojen oikeaa sijoittelua johtaisivat todennäköisesti vähempiin

ongelmatilanteisiin. Lisäksi lavojen kunnon tarkistamiseen tulee kiinnittää huomiota ennen käsittelyä, sillä vihivaunut eivät havaitse esimerkiksi rikkinäisiä lavoja, mikä taas voi aiheuttaa vaaratilanteita ja toimintahäiriöitä.

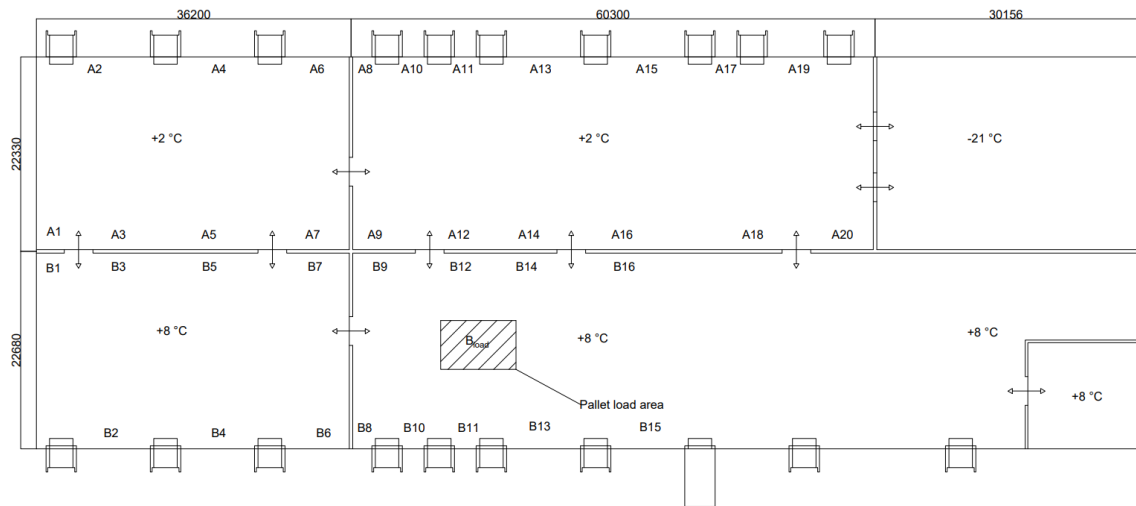
#### 4.7 Terminaalin layout

Terminaalialue on jaettu kolmeen eri lämpötila-alueeseen  $-21\text{ °C}$ ,  $+2\text{ °C}$  ja  $+8\text{ °C}$ , joita rajaavat väliseinät.  $+2$  asteen lämpötila-alueella ovat lähetysalueet A1...A20 ja  $+8$  asteen lämpötila-alueella lähetysalueet B1...B16. Terminaaliprosessissa käsitellyt tavarat siirretään lähetysalueille lopullisen toimitusosoitteen mukaisesti.

Terminaalin molemmilla pitkillä sivuilla on yhteensä 20 lastauslaituria, joita käytetään sekä kuorman purkuhin että lastauksiin. Käytettävä lastauslaituri valitaan vuorokauden ajan, lastauslaitureiden käyttöasteen ja purettavan tai lastattavan tavaraperusteella. Kuljettajat purkavat tavarat terminaaliprosessia varten järkevään paikkaan, eli mahdollisuuksien mukaan lähelle lopullista lähetysaluetta.

Tässä työssä käsiteltävät lavasiirrot suoritetaan  $+8$  asteen lämpötila-alueella eli pohjapiirustuksen mukaisesti alueen poikittaissuunnassa jakavan väliseinän alemmalla puolella.  $+8$ -alueen jakaa lisäksi pystysuunnassa väliseinä, jossa on automaattisesti liikkeitunnistuksella oleva nosto-ovi. Tämä ovi on jatkuvasti avoinna, joten sitä ei tarvitse huomioida vihivaunujen liikkuessa terminaalin eri osien välillä.

Saapuville asiakasyksiköille tehdään omavalvontasuunnitelman mukaiset vastaanotto- ja kuljettajat purkavat ne pohjapiirroksessa näkyvälle Bload-alueelle. Bload-alueelta asiakasyksiköt siirretään yksikössä olevan osoitelapun mukaisesti oikealle lähtöalueelle B1...B16. Selvitystä varten päästään tarpeeksi suureen tarkkuuteen olettaen, että saapuvat lavat jakautuvat tasaisesti kaikille lähetysalueille. Terminaalin pohjapiirustus ja Bload-alue ovat nähtävissä terminaalin pohjapiirustuksesta kuvasta 16.



Kuva 16. Terminaalialueen pohjapiirustus

Siirrettävät kuljetusyksiköt ovat EUR-lavoja, jotka ovat eniten käytettyjä vaihtolavoja maailmassa. EUR-lavan mitat ovat 800 mm x 1200 mm x 144 mm ja niiden massa on noin 25 kg (EPAL EURO PALLET (EPAL 1) 2020). Valmiiden asiakasyksikkölavojen massa on maksimissaan noin 600 kg, mikä sisältää myös lavan massan. Asiakasyksikkölavat on myös ympäröity pakkauskalvolla, eikä niissä ole osia, jotka ylittäisivät EUR-lavojen pituus- tai leveysmitat.

Asiakasyksikkölavojen siirtomatkat on laskettu taulukkoon 2 Autocad-ohjelmalla mittamalla lyhin mahdollinen reitti lastausalueen keskikohdasta lähetyalueiden keskikohtiin ja takaisin käyttäen ainoastaan pysty- ja vaakasuoria siirtymiä.

Taulukko 2. Asiakasyksikkölavojen siirtomatkat

Reitti	Siirtomatka
Bload – B1 – Bload	113,6 m
Bload – B2 – Bload	112,0 m
Bload – B3 – Bload	98,6 m
Bload – B4 – Bload	87,2 m
Bload – B5 – Bload	77,8 m
Bload – B6 – Bload	62,6 m
Bload – B7 – Bload	53,4 m
Bload – B8 – Bload	46,8 m
Bload – B9 – Bload	40,2 m
Bload – B10 – Bload	33,8 m
Bload – B11 – Bload	21,4 m
Bload – B12 – Bload	21,2 m
Bload – B13 – Bload	33,6 m
Bload – B14 – Bload	28,6 m
Bload – B15 – Bload	59,2 m
Bload – B16 – Bload	50,8 m

Siirtojen keskiarvopituus on 58,8 m. Näin ollen kuukauden kokonaissiirtomatoksi saadaan noin  $5\,000 * 58,8\text{ m} = 294\,000\text{ m}$ .

Vihivaunujen tarpeen laskemiseen käytettiin apuna eri palveluntarjoajilta ja Swanlinen terminaalivastaavalta (Pasanen 2020) saatuja tietoja sekä terminaalin pohjapiirustuksesta arvioitua kokonaissiirtomatkaa. Palveluntarjoajilta saaduissa tiedoissa oli jonkin verran poikkeamia, joten niiden pohjalta tehtiin kolme eri versiota hitaimpien, keskimääräisten sekä nopeimpien arvojen mukaisesti. Näiden tietojen pohjalta tehty laskelma on nähtävissä taulukossa 3.

Taulukko 3. Laskelma vihivaunujen tarpeesta

Lähtötiedot		yksikkö		
Siirrettävät lavat	5000	kpl/kk		
Jakopäivien määrä	26	kpl/kk		
Siirtomatka	11308	m/jakopäivä		
Päivittäinen siirtoaika	16	h		
		hitain	keski	nopein
				yksikkö
Vihivaunun nopeus	0,5	1,0	1,5	m/s
Kuorman lastaus tai purku	25,0	20,0	15,0	s/tapahtuma
Akun kesto	3,0	4,0	5,0	h/lataus
Akun latauksen kesto	1,5	1,0	0,5	h/tapahtuma
Lastaus- ja purkutapahtumien määrä	384,6	384,6	384,6	kpl/jakopäivä
Siirtojen kesto yhteensä	6,3	3,1	2,1	h/vrk
Lastausten ja purkujen kesto yhteensä	2,7	2,1	1,6	h/vrk
Latauskerrat	2,1	0,8	0,4	kpl/vrk
Latauskesto yhteensä	3,1	0,8	0,2	h/vrk
Ajankäyttö yhteensä	14,2	6,8	4,3	h/vrk
Tarvittava vihivaunujen määrä	0,9	0,4	0,3	kpl

Laskelmasta nähdään, että kaikilla kolmella tavalla laskettuna yksi vihivaunu riittäisi toteuttamaan asiakaskerättyjen yksiköiden siirrot.

#### 4.8 Nykyisen toiminnan kululaskelma

Asiakaskerättyjen yksiköiden siirtoja tehdään terminaalissa yhteensä noin 5 000 kappaletta kuukaudessa, joihin vastaavasti käytetään noin 125 työtuntia kuukaudessa. Siirtoihin nykyisellään käytetty työväline on arviolta 99-prosenttisesti sähköinen lavansiirtovaunu. (Karpinski 2020.)

Siirtoja tehdään tällä hetkellä pääosin aamu- ja iltavuorossa kaikkina päivinä viikossa. Keskimääräiseksi kuluksi voidaan näiden tietojen perusteella käyttää keskimääräistä taulukkopalkkaa. Peruspalkan lisäksi maksettavia lisiä ovat iltatyö-, yötyö-, pyhätyö-, yli-työ- ja viileälisä. Lisäksi huomioiden työntekijöiden sairaus- ja vuosilomat sekä työajan lyhennysvapaat voidaan keskimääräisenä lisäkuluna perusbruttopalkan lisäksi pitää kerrointa 1,7.

Näin ollen työnantajalle muodostuvaksi kuluksi saadaan suurin piirtein

$$2424,27 \text{ €/kk} / 160 \text{ h} * 1,7 = 25,76 \text{ €/h}$$

Käytetty palkkaesimerkki on Auto- ja kuljetusalan terminaalityöehtosopimuksen mukaisesti 7–10 vuoden kokemuksella 1.2.2020 lähtien maksettava kuukausibruttopalkka. (Terminaalitoimintaa koskeva työehtosopimus 2020: 3)

Näin ollen kuukausittaiseksi työvoimakuluksi saadaan

$$25,76 \text{ €/h} * 125 \text{ h} = 3220 \text{ €/kk}$$

Asiakaskerättyjen yksiköiden siirtoon riittää arviolta yksi lavansiirtovaunu, jonka kustannus huoltoineen on arviolta noin 400 €/kk.

Näin ollen yritykselle koituva kokonaiskulu on

$$3220 \text{ €/kk} + 400 \text{ €/kk} = 3620 \text{ €/kk tai}$$

$$3620 \text{ €/kk} * 12 \text{ kk} = 43\,440 \text{ €/v.}$$

## 5 Tulokset ja päätelmät

### 5.1 Keskeiset tulokset

Opinnäytetyön tekemisen aikana selvisi, että nykypäivän vihivaunuteknologia on riittävän kehittyntä hyödynnettäväksi terminaalitoiminnassa. Erityisesti turvallisuuteen ja navigointiin liittyvät teknologiat ovat kehittyneet viime vuosina nopeaa ja sama suuntaus vaikuttaisi jatkuvan. Selvityksen perusteella kompakti automaattitrucki litiumioniakulla, luonnollisella navigoinnilla ja kattavilla turvaominaisuuksilla sopisi parhaiten käytettäväksi terminaalitoiminnassa.

Automatisoimalla +8-alueella tehtävien EUR-lava-asiakasyksiköiden siirto saataisiin vapautettua henkilöstöä muihin töihin. Tällä hetkellä työtehtävään kuluu noin 125 työtuntia kuukaudessa ja opinnäytetyössä tehdyn laskelman mukaisesti yksi vihivaunu kykenee suorittamaan siirrot. Yhden täysaikaisen työntekijän kuukauden työtunnit ovat noin 170, joten henkilöstöresurssia saataisiin vapautettua noin  $\frac{3}{4}$ -henkilön verran. Vapautunut henkilöstöresurssi pystytään hyödyntämään muissa työtehtävissä, joihin automaatio ei tässä vaiheessa vielä kykene.

Vihivaunut kehittyvät jatkuvasti kaikilla osa-alueilla maailmanlaajuisesti, joten tarkkoja ennustuksia tulevasta on haastavaa tehdä. Muutaman vuoden kuluttua tehty opinnäytetyö samasta aiheesta saattaisi olla hyvinkin erilainen. Kehittyvimpiä osa-alueita vihivaunuissa vaikuttaisivat olevan etenkin navigointiin sekä ohjausjärjestelmiin liittyvät ratkaisut.

### 5.2 Johtopäätökset ja työn arviointia

Työssä tehdyn selvityksen pohjalta saatiin hyvä käsitys siitä, että mitä asioita tulee ottaa huomioon vihivaunuteknologiaa valittaessa. Vihivaunun kompakti koko on olennainen asia johtuen terminaalien ajoittaisesta tilahaustaudesta. Kompaktilla koolla tarkoitetaan vihivaunua, joka vaatii mahdollisimman vähän lattiapinta-alaa toimiakseen, kuitenkin kyeten käsittelemään vaaditun painoisia kuljetusyksiköitä. Automaattitrucki on järkevin va-

linta vihivaunutyypiksi terminaalitoiminnan kannalta sillä lähes kaikki terminaalissa siirrettävät kuljetusyksiköt ovat joko lavoja, tai rullakoita, joita siirretään jo nykyisellään vastaavanlaisilla manuaalisilla trukeilla ja lavansiirtovaunuilla. Muiden vihivaunutyypien käyttö vaatisi muutoksia terminaalin toimintaperiaatteeseen.

Vihivaunujen muihin ominaisuuksiin liittyvissä asioissa akkuvaihtoehdoista litiumioniakku onärkevin akkuratkaisu, sillä sen avulla saadaan vihivaunun latausajat alas ja näin ollen paikattua vihivaunujen muuten hitaampaa liikkumisnopeutta. Litiumioniakun hyvä puoli on myös sen suuri ominaisteho, joka tarkoittaa pienempää akustoa ja sitä kautta pienempää vihivaunua. Luonnollinen navigointi on paras ratkaisu vihivaunun navigointitavaksi ottaen huomioon terminaalin jatkuvasti muuttuvan pohjapiirroksen. Luonnollisen navigoinnin ominaisuudet, kuten kiinteiden asennusten tarpeettomuus, ympäristön muutosten havainnointi ja helppo päivitettävyyys, ovat ominaisuuksia, jotka soveltuvat hyvin muuttuvaan ympäristöön. Luonnollisen navigoinnin valintaa puoltaa myös jatkoa ajatellen se, että vihivaunun laajennettavuus muihin työtehtäviin on muita navigointitapoja yksinkertaisempaa. Kattavilla turvaominaisuuksilla tarkoitetaan selkeää vihivaunussa olevaa selkeää hätä-seis-painiketta, varoitusvaloja, jarruja, jotka ovat aktiivisena ilman sähkövirtaa, potkupeltejä sekä henkilöntunnistusjärjestelmää. Kaikki nämä turvaominaisuudet ovat tarpeellisia, kun vihivaunuja suunnitellaan käytettäväksi samassa tilassa ihmisten kanssa.

Luonnollinen navigointi on tehnyt vihivaunujen tekoälyn kehittämisestä vapaampaa poistamalla siitä fyysisiä rajoituksia. Esimerkiksi navigoinnissa kiinteästi asennettavien joih-tojen kanssa vihivaunujen liikkuminen on hyvin rajoitettua, kun taas luonnolliselle navigoinnille riittää tyhjä huone, jossa vihivaunujen reitit voidaan suunnitella vapaasti. Tulevaisuudessa tullaankin todennäköisesti näkemään kehitystä erityisesti vihivaunujen toimintalogiikassa, josta seuraa tehokkuutta, tarkkuutta, turvallisuutta sekä toimintakykyä entistä haastavammissa ympäristöissä ja tehtävissä. Ohjausjärjestelmien kehitys on myös tärkeässä roolissa, koska sillä varmistetaan vihivaunujen käyttöönoton helppous, muokattavuus sekä raportointi vihivaunujen toiminnasta. Esimerkkinä voi käyttää esimerkiksi sitä, että pystyykö vihivaunujen käyttäjäryitys itse muokkaamaan reititystä, vai pitääkö paikalle kutsua aina palveluntarjoajan henkilökunta. Kun käyttäjäryitys pystyy itse tekemään reitityksen muutokset, on se todennäköisesti kustannustehokkaampaa sekä joustavampaa.

Työn tulokset perustuvat pääosin kirjallisuuteen, internetlähteisiin sekä haastatteluihin. Lähteitä on työssä käytetty laajalti, joten mielestäni työn tulokset ovat luotettavia. Vapautuvan henkilöstöressin laskelma ei välttämättä ole täysin tarkka. Henkilöstöressia voidaan saada vapautettua laskettua enemmän, jos vihivaunu suoriutuu sille suunnitellusta tehtävästä arvioitua nopeammin. Jos vihivaunun käyttöön liittyvät muut työt, esimerkiksi reittien muuttaminen, vievät suunniteltua enemmän aikaa, voi vapautuva henkilöstöressi olla myös pienempi.

Keskusteltaessa opinnäytetyön tiedonkartoitusvaiheessa terminaalissa työskentelevien ihmisten kanssa ajatuksesta, että ehkä tulevaisuudessa osan töistä voisi suorittaa vihivaunu, oli vastaanotto lähes poikkeuksetta positiivista ja kiinnostunutta. Yleisesti itseään toistavien ja yksinkertaisten työvaiheiden automatisointi koettiin henkilökunnan keskuudessa positiivisena ajatuksena.

Tämä suunniteltu automaatioprojekti olisi terminaalin osalta ensimmäinen automatisoituva toiminto. Tästä johtuen on tärkeää, että jos projekti päädytään toteuttamaan, niin olisi se valmisteltu myös henkilöstön muutosjohtamisen kannalta mahdollisimman kattavasti, jotta saadaan koko organisaatio tukemaan projektia. Tästä syystä esimerkiksi vihivaunujen ohjausjärjestelmän käytön opetteluun valittavien henkilöiden valintaan kannattaa kiinnittää huomiota ainakin henkilöiden IT-osaamisen ja aseman osalta. Suuri osa saatavilla olevasta vihivaunuihin liittyvästä lähdemateriaalista keskittyy paljon vihivaunujen teknisiin ominaisuuksiin ja lisäksi lähes kaikki tarjolla oleva koulutusmateriaali on ohjausjärjestelmää ja vihivaunujen käyttöä varten. Ehkä tulevaisuudessa palveluntarjoajat laajentavat myymäänsä pakettia koskemaan myös henkilöstön valmennusta laajemmassa mittakaavassa.

### 5.3 Jatkotutkimusaiheita

Mahdollinen aihe jatkotutkimukselle olisi automatisointiprojektin käsittely laajemmassa mittakaavassa, joka huomioi myös projektin johtamisen ja muutoksen työtavoissa. Tällä tutkimuksella voitaisiin ennaltaehkäistä mahdollisia henkilöstöstä johtuvia ongelmia sekä lyhentää käyttöönottoaikaa ja sitä kautta koko projektin kestoa ja kuluja. Toinen mahdollinen aihe jatkotutkimukselle olisi selvittää, onko terminaalitoiminnassa muita mahdollisesti automatisoitavissa olevia toimintoja.

## 6 Yhteenveto

Tässä opinnäytetyössä käytiin läpi tilaajan tehtävänantoa liittyen vihivaunuteknologioiden nykytilaan, tulevaisuuden näkymiin, terminaalitoimintaan sopivuuteen sekä vihivaunupalveluntarjoajan valintaan vaikuttaviin tekijöihin. Lisäksi työn toissijaisena tavoitteena oli selvittää, voidaanko henkilöstöä vapauttaa vihivaunujen myötä tuottavampiin töihin. Terminaalitoiminta on tärkeä osa toimitusketjua kaupan logistiikassa, sillä se on viimeinen tavarankäsittelyaste ennen jakelua loppuasiakkaille, eli vähittäiskaupoille. Tästä syystä pienilläkin parannuksilla voi olla suuri merkitys loppujakelun täsmällisyydelle.

Työ aloitettiin keräämällä teoriatietoa vihivaunuista ja niiden ominaisuuksista kirjallisuudesta ja internetlähteistä. Kerätyt tiedot liittyivät vihivaunujen eri tyyppisiin, navigointiin, ohjausjärjestelmiin, turvallisuuteen sekä akkuihin. Vihivaunutyypeistä käytiin läpi automaattitrukit ja automatisoidut trukit, vetotrukit, alle ajettavat vihivaunut sekä piggyback-vihivaunut. Selvityksen perusteella päädyttiin siihen, että automaattitrukki olisi ominaisuuksiensa puolesta sopivin terminaalitoimintaan erityisesti sen johdosta, että suurin osa terminaalissa tehtävistä kuljetusyksiköiden siirroista tehdään jo vastaavilla manuaalisilla laitteilla. Muut vihivaunutyypit vaatisivat erityisjärjestelyitä toimiakseen, esimerkiksi kuljetusyksiköiden nostamista erillisiin kuljetusvaunuihin. Työn kirjoittamisen aikana huomattiin myös navigointitavan tärkeys jatkuvasti muuttuvassa toimintaympäristössä. Luonnollinen navigointi todettiin parhaiten terminaalitoimintaan sopivaksi etenkin laajan muokattavuutensa sekä mukautuvuutensa ansiosta.

Tämän jälkeen hankittiin tarkempia valmistajakohtaisia tietoja haastatteleamalla vihivaunutoimittajia. Tarkemmat tiedot olivat vihivaunujen liikkumisnopeuksia, kuorman lastaus- ja purkutapahtumien kestoajoja sekä akunlatausaikoja. Lisäksi vierailtiin terminaalissa paikan päällä selvittämässä toimintaympäristöä, asiakaskerättyjen yksiköiden siirtoon liittyvät tiedot sekä haastattelemassa terminaalin henkilökuntaa. Toimintaympäristön pohjapiirros hahmoteltiin vierailun jälkeen CAD-ohjelmalla muistiinpanojen pohjalta. CAD-ohjelmaa käytettiin myös asiakaskerättyjen yksiköiden siirtomatkan laskemiseen. Vihivaunutoimittajien tietojen sekä toimintaympäristön analyysin pohjalta saatiin laskettua, että yksi vihivaunu kykenisi suorittamaan asiakaskerättyjen EUR-lavojen siirrot.

Lopputuloksena syntyi laaja katsaus vihivaunuteknologioista ja niiden ominaisuuksista sekä niiden soveltuvuudesta terminaalitoimintaan. Selvityksen pohjalta saatiin hyvä käsitys nykytilasta, mikä auttaa myös teknologioiden kehityssuuntien ennustamisessa. On mielenkiintoista nähdä, kehittyvätkö tarjolla olevat vihivaunupalvelut tulevaisuudessa laajemmiksi palvelukokonaisuuksiksi, jotka sisältävät esimerkiksi ostajayrityksen henkilöstön muutosjohtamista.

## Lähteet

15,000 amazon kiva robots drive eighth generation fulfillment center. Verkkoaineisto. Designboom. <<https://www.designboom.com/technology/amazon-kiva-robots-generation-fulfillment-12-02-2014/>>. Luettu 20.6.2020.

AGV Automated Guided Vehicles Battery charging solutions. Verkkoaineisto. <<https://www.agvnetwork.com/automated-guided-vehicles-battery-charging-solutions>>. Luettu 13.7.2020.

Amazon now has 200,000 robots working in its warehouses. Verkkoaineisto. Robotics & Automation. <<https://roboticsandautomationnews.com/2020/01/21/amazon-now-has-200000-robots-working-in-its-warehouses/28840/>>. Luettu 20.6.2020.

Automated warehouse trucks. Verkkoaineisto. Toyota Forklifts. <<https://toyota-forklifts.eu/automation/automated-solutions/>>. Luettu 18.6.2020.

Berg, Helena. 2015. Batteries for Electric Vehicles. Cambridge: Cambridge University Press.

Blanco, Myra & Atwood, Jon; Russell, Sheldon; Trimble, Tammy; McClafferty, Julie & Perez, Miquel. Automated Vehicle Crash Rate Comparison Using Naturalistic Data. Verkkoaineisto. Virginia Tech Transportation Institute. <[https://www.vtti.vt.edu/PDFs/Automated%20Vehicle%20Crash%20Rate%20Comparison%20Using%20Naturalistic%20Data\\_Final%20Report\\_20160107.pdf](https://www.vtti.vt.edu/PDFs/Automated%20Vehicle%20Crash%20Rate%20Comparison%20Using%20Naturalistic%20Data_Final%20Report_20160107.pdf)>. Luettu 29.6.2020.

Buying AGVs. Verkkoaineisto. Kollmorgen. <<https://www.kollmorgen.com/en-us/solutions/automated-guided-vehicles/buying-agvs/>>. Luettu 14.6.2020.

Comparison of 11 different types of AGV navigation methods. Verkkoaineisto. AGVblog. <<http://www.agvblog.com/514.html>>. Luettu 30.7.2020.

Dell, Ronald M. & Rand, David A.J. 2001. Understanding Batteries. 1st Edition. Cambridge: Royal Society of Chemistry.

EPAL EURO PALLET (EPAL 1). Verkkoaineisto. Epal The Pallet System. <<https://www.epal-pallets.org/eu-en/load-carriers/epal-euro-pallet/>>. Luettu 30.7.2020.

Global Warehouse Automation Market Report 2020-2025, By Technology, By Industry, By Geography. Verkkoaineisto. Globe Newswire. <<https://www.globenewswire.com/news-release/2020/05/19/2035445/0/en/Global-Warehouse-Automation-Market-Report-2020-2025-By-Technology-By-Industry-By-Geography.html>> Luettu 12.6.2020.

History of Automated Guided Vehicles. Verkkoaineisto. Reconditioned Forklifts. <<http://www.reconditionedforklifts.com/blog/forklift-history-2/history-automated-guided-vehicles>>. Luettu 20.6.2020.

Hokkanen, Simo & Karhunen, Jouni & Luukkanen, Martti. 2010. Johdatus logisti seen ajatteluun. 5. uudistettu painos. Kangasniemi: Sho Business Development.

Karpinski, Jari. 2020. Tuotantovastaava, Swanline Oy, Vantaa. Keskustelu 29.7.2020.

Karrus, Kaij E. 2005. Logistiikka. 3.–5. painos. Helsinki: Sanoma Pro Oy.

Larminie, James & Lowry, John. 2012. Electric Vehicle Technology Explained. 2. painos. London: John Wiley & Sons Ltd.

Lin, Shang-Yen & Chen, Yung-Chang. 2011. SLAM and Navigation in Indoor Environments. Verkkoaineisto. Springer-Verlag. <[https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-3-642-25367-6\\_5.pdf](https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-3-642-25367-6_5.pdf)>. Luettu 13.7.2020.

Logistiikka. Verkkoaineisto. Logistiikan Maailma. <<http://www.logistiikanmaailma.fi/logistiikka/>> Luettu 13.6.2020.

Maximizing your logistic performance. Verkkoaineisto. Rocla Oy. <[http://www.rocla.com/sites/rocla.com/files/page/fields/field\\_sample\\_files/rocla-agvgenbr\\_eng\\_web.pdf](http://www.rocla.com/sites/rocla.com/files/page/fields/field_sample_files/rocla-agvgenbr_eng_web.pdf)>. Luettu 29.6.2020.

Meet F3 Design. Verkkoaineisto. F3-Design B.V. <<https://www.nipperagv.com/>>. Luettu 16.6.2020.

Mikä on automaattitrukki (AGV)?. Verkkoaineisto. Toyota Material Handling Finland Oy. <<https://blog.toyota-forklifts.fi/mika-on-automattitrukki-agv>>. Luettu 20.6.2020.

Movexx AGV1000-UR. Verkkoaineisto. Movexx B.V. <[https://movexx.nl/wp-content/uploads/2018/12/ENG\\_AGV1000-UR-2018.pdf](https://movexx.nl/wp-content/uploads/2018/12/ENG_AGV1000-UR-2018.pdf)>. Luettu 20.6.2020.

Natural Navigation Automated Guided Vehicles. Verkkoaineisto. AGV Network. <<https://www.agvnetwork.com/natural-navigation-automated-guided-vehicles>>. Luettu 2.8.2020.

Navigation in the warehouse with navigation scanners. Verkkoaineisto. SICK AG. <<https://www.sick.com/ag/en/end-of-line-packaging/automated-guided-vehicle-agv/navigation-in-the-warehouse-with-navigation-scanners/c/p514345>>. Luettu 31.7.2020.

Omaohjelmointisuunnitelma. Yrityksen sisäinen dokumentti. Swanline Oy.

Osto ja logistiikka. Verkkoaineisto. Bonnier Pro. <<http://www.bonnier-pro.fi.ezproxy.metropolia.fi/fi/app/osto-ja-logistiikka/logistiikkakustannukset-ky-synta-toimitusketjussa>> Luettu 29.7.2020.

Pasanen, Asko. Terminaalivastaava, Swanline Oy, Liminka. Keskustelu 15.7.2020.

Powerful robotic tow tractor. Verkkoaineisto. Linde Material Handling. <<https://www.linde-mh.com/en/Products/Automated-Trucks/P-Matic/>>. Luettu 18.6.2020

Ritvanen, Virpi & Inkiläinen, Aimo & von Bell, Anderson & Santala, Jouko. 2011. Logistiikan ja toimitusketjun hallinnan perusteet. Helsinki: Suomen Osto- ja logistiikkayhdistys LOGY.

Sakki, Jouni. 2014. Tilaus-toimitusketjun hallinta, digitalisoitumisen haasteet. E-kirja. Vantaa: Jouni Sakki Oy.

Swanline. 2020. Verkkoaineisto. Swanline Oy. <<https://www.swanline.fi/>>. Luettu 12.6.2020.

Terminaalitoimintaa koskeva työehtosopimus. Verkkoaineisto. Auto- ja kuljetusalan Työntekijäliitto AKT ry <[https://www.akt.fi/site/assets/files/2097/terminaali\\_palkat\\_1\\_2\\_2020.pdf](https://www.akt.fi/site/assets/files/2097/terminaali_palkat_1_2_2020.pdf)>. Luettu 13.7.2020.

Thinking ahead intelligently. Verkkoaineisto. SICK AG. <<https://www.sick.com/ag/en/thinking-ahead-intelligently/w/blog-thinking-ahead-intelligently/>>. Luettu 29.6.2020.

Types of Navigation technology. Verkkoaineisto. Scott Automation. <<https://www.scottautomation.com/news/articles/types-of-agv-navigation-technology/>>. Luettu 20.6.2020.

Ullrich, Günter. 2015. Automated Guided Vehicle Systems. Second revised and expanded edition. Berlin: Springer-Verlag.

Vehicle Navigation. Verkkoaineisto. ScienceDirect. <<https://www.sciencedirect.com/topics/computer-science/dead-reckoning>>. Luettu 2.8.2020.

Vihivaunu eli automaattitrucki (AGV). Verkkoaineisto. Toyota Material Handling Finland Oy. <<https://kampanja.toyota-forklifts.fi/vihivaunu>>. Luettu 16.6.2020.

Vihivaunut (AGV). Verkkoaineisto. Ab Solving Oy. <<https://www.solving.com/tuotteet/vihivaunut-agv/>>. Luettu 14.6.2020.

Voster, Åsmund. 2020. Forretningsutvikler, Allinvent AS. Keskustelu 17.7.2020.

Zhan, Xiangnan; Xu, Liyun; Zhang, Jian & Li, Aiping. 2019. Study on AGVs battery charging strategy for improving utilization. Verkkoaineisto. ScienceDirect. <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827119304603>>. Luettu 13.7.2020.

## Palveluntarjoajien haastattelut

Tätä insinööriyötä varten käytiin keskusteluja eri vihivaunupalveluntarjoajien kanssa. Kaikkien kanssa käytiin pääpiirteittäin läpi samat asiat.

Palveluntarjoajille esitetyt kysymykset:

- Mitä vihivaunutyyppejä tarjoatte?
- Minkälaisia navigointivaihtoehtoja tarjoatte? Ja mitä suosittelette?
- Millaisia akkuvaihtoehtoja vihivaunuissanne on?
- Miten vihivaunujen lataus tapahtuu?
- Kuinka turvallisuus on huomioitu vihivaunuissanne?
- Millainen on ohjausjärjestelmänne?
- Kuinka tarjoamanne vihivaunut sopivat ympäristöön, jossa on paljon muutoksia?
- Mikä on näkemyksenne vihivaunujen tulevaisuudesta?

## Tilaaajyrityksen henkilökunnan haastattelut

Insinööriyötä varten haastateltiin myös tilaaajyrityksen terminaalivastaavaa sekä tuotantovastaavaa.

Terminaali- ja tuotantovastaavalle esitetyt kysymykset:

- Miksi terminaaaleja on olemassa?
- Mitä on terminaalitoiminta?
- Mitä ovat terminaalien hyvät ja huonot puolet?
- Onko terminaalissa automatisoituja toimintoja?
- Voisiko vihivaunuilla vapauttaa työvoimaa muihin tehtäviin?