



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Ropi Kujala

Autonomisen trukin hyödyntäminen rahtiterminalissa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikka

Insinöörityö

26.5.2020

Tekijä Otsikko	Ropi Kujala Autonomisen trukin hyödyntäminen rahtiterminaalissa
Sivumäärä Aika	26 sivua + 4 liitettä 26.5.2020
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	sähkö- ja automaatiotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	automaatiotekniikka
Ohjaaja	yliopettaja Antero Putkiranta
<p>Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia, miten autonomisia trukkeja hyödynnetään tällä hetkellä rahtiterminaleissa ja mitä haasteita tai hyötyjä autonomisen trukin hyödyntämisessä tulee. Työssä tarkastellaan autonomiseen truckiin liittyvää nykYTEKNOLOGIAA ja sitä minkälaisen infrastruktuurin autonominen trucki vaatii toimiakseen turvallisesti ja tehokkaasti. Työssä käytiin läpi autonomisen trukin hyötyjä perinteisiin lavansiirtovaunuihin ja vastapainotrukkeihin verrattuna, sekä tehtiin suppeaa laskelmaa hyödyistä ja haitoista näiden välillä.</p> <p>Opinnäytetyö toteutettiin kirjallisuustutkimuksena ja siinä on perehdytty autonomisiin työkoneisiin liittyvään kirjallisuuteen, standardeihin ja verkkoaineistoon. Työssä on käyty läpi kattavasti muun muassa erilaiset autonomisen trukin turvallisuusominaisuudet, määräävät standardit ja erilaiset navigointitekniikat. Työssä on käyty läpi myös autonomisen trukin hyödyntämisen nykytila rahtiterminaleissa ja luotu katsaus tulevaisuuteen nykytiedon pohjalta.</p> <p>Työssä saatiin hyvä käsitys nykytilasta autonomisen trukin hyödyntämismahdollisuuksista rahtiterminaalissa ja siitä, miksi kyseisen teknologian käyttö ei ole vielä yleistynyt merkittävästi rahtiterminaleissa. Tulevaisuudessa tekniikan kehittyessä ja kilpailun kiristyessä erilaiset autonomiset teknologiaratkaisut tulevat suurella todennäköisyydellä yleistymään myös perinteisimmillä aloilla, kuten rahtiterminaleissa.</p> <p>Muutos ei kuitenkaan tapahdu lyhyellä aikavälillä kerralla, vaan pikkuhiljaa erilaisten autonomisten ratkaisuiden lisääntyessä ensin ihmisten rinnalle tukemaan ihmistä työssä ja tekniikan kehityksessä korvaamaan joitakin työtehtäviä kokonaisuudessaan. Logistiikkakustannukset muodostava merkittävän osa eri yritysten kuluista ja siksi on väistämätöntä, että tulevaisuudessa erilaiset automaatiotratkaisut tulevat korvaamaan suurimman osan nykyisistä työtehtävistä logistiikkalalta.</p>	
Avainsanat	AGV, 5G, logistiikka, autonominen trucki, navigointi

Author Title	Ropi Kujala Utilization of an Autonomous Truck in a Freight Terminal
Number of Pages Date	26 pages and 4 appendices 26 May 2020
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical and Automation Engineering
Specialisation option	Automation Engineering
Instructor	Antero Putkiranta, Senior Lecturer
<p>The purpose of the thesis was to study how autonomous trucks are utilized in cargo terminals and what challenges or benefits there will be in utilizing an autonomous truck. The thesis examines the current technology related to the autonomous truck and the type of infrastructure an autonomous truck requires in order to operate safely and in use. The work examines the benefits of an autonomous truck compared to traditional pallet trucks and counterbalanced trucks through a narrow calculations.</p> <p>The thesis has been carried out as a literature research and it has become acquainted with the literature, standards and online material related to autonomous machines. The work has gone through a comprehensive transformation of various autonomous truck safety features, prescriptive standards and various navigation techniques. The work has also reviewed the utilization of an autonomous forklift truck in the current state cargo terminals and created an overview of the future based on the current knowledge.</p> <p>The thesis provided a good understanding of the current state of the autonomous truck utilization possibilities in the cargo terminal and why this technological use has not yet become widespread among users of cargo terminals. As the technology of the future evolves and competition intensifies, autonomous technology solutions for different users will be more common in many workplaces, such as in cargo terminals.</p> <p>Change doesn't happen in a short period of time, but it will evolve slowly as it will be used to help people among their jobs and as the technology develops further it will take some of the jobs entirely. Logistics costs make up a significant part of the costs of different companies and it is therefore inevitable that in the future, various automation solutions will replace most of the current work tasks in the logistics sector.</p>	
Keywords	AGV, 5G, logistics, autonomous truck, navigation

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Autonominen trukki	1
2.1	Autonomian historiaa	2
2.2	Autonomisen ajoneuvon eri tasot	4
2.3	Trukkityypit	6
2.4	Tietoturva ja työturvallisuus	8
2.4.1	Työturvallisuus	9
2.4.2	Tietoturva	12
3	5g-verkko	12
4	Navigointi	13
5	Logistiikka rahtiterminaalissa	18
6	Autonomisen trukin hyödyt ja haitat rahtiterminaalissa	21
6.1	Hyödyt	21
6.2	Haitat	23
6.3	Autonomisten trukkien tulevaisuus	24
7	Yhteenveto	24
	Lähteet	25

Lyhenteet

AGV *Automated Guided Vehicle*. Autonomisesti ohjautuva ajoneuvo.

GPS *Global Positioning System*. Satelliittipaikannusjärjestelmä.

IoT *Internet of Things*. Esineiden internet.

PLC *Programmable Logic Controller*. Ohjelmoitava logiikka.

RFID *Radio Frequency IDentification*. Radiotaajuustunnistaminen.

1 Johdanto

Tämän työn tarkoituksena on tutkia autonomisen trukin hyödyntämistä rahtiterminaalissa. Työn tarkoituksena on tutkia, miten autonominen trukki pärjää alati muuttuvassa ympäristössä ja miten sitä pystyisi hyödyntämään parhaiten terminaalitoimintojen tukemisessa. Opinnäytetyössä tutkitaan autonomisen ja perinteisen vastapainotrukin eroja, niin kustannuksissa, kuin tehokkuudessa. Tutkimuksessa tutustutaan myös siihen, miten autonominen trukki on suunniteltu toimimaan ihmisen kanssa ja erityisesti siihen, miten työturvallisuus on huomioitu.

Autonominen trukki tunnetaan nimellä AGV (Automated Guided Vehicle). Tällä hetkellä AGV:t ovat harvinaisia ja käytössä enimmäkseen isoissa varastoissa, joissa niiden ohjelmointi on huomattavasti helpompaa, johtuen prosessin vähäisestä muuttuvuudesta. Teknologian kehittyessä ja muuttuessa halvemmaksi AGV:t tulevat varmasti lisääntymään tulevaisuudessa. Ulkomailta AGV:ta on ollut pidemmän aikaa käytössä mm. auto-teollisuudessa, joissa prosessi on tarkkaan määriteltyä, eikä vaadi päivittäisiä muutoksia ohjelmointiin. Työssä käydään läpi AGV-ajoneuvon tärkeimmät navigointiominaisuudet, tietoturva- ja työturvallisuusominaisuudet. Opinnäytetyötä tehdessä on käytetty useita lähteitä ja kirjallisuutta tiedon keräämiseksi.

2 Autonominen trukki

Autonominen trukki tai lyhyemmin AGV. AGV on lyhenne, joka tulee sanoista Automatic Guided Vehicle. AGV käsitteenä tarkoittaa tietokoneen ohjaamaa pyörillä varustettua ajoneuvoa, joka on tarkoitettu ilman kyydissä olevaa kuljettajaa tapahtuvaan kuorman siirtoon. [1.] Kuvassa 1 on esitelty AGV.



Kuva 1. Erään valmistajan AGV nostamassa lavaa liukuhihnalle. [2.]

Autonomisten trukkien liikeradat ovat ohjelmoituja ja toimivat erilaisiin sensoreihin perustuvilla ohjausjärjestelmillä. AGV:n liikkeitä perustuvat ennalta määriteltyihin reitteihin, tarkkaan suunniteltuihin kiihdytyksiin ja jarruttamisiin ja sisältävät automaattisen esteen tunnistus puskurin, jotka varmistavat kuormien turvallisen liikuttamisen erilaisissa tiloissa. [1.]

2.1 Autonomian historiaa

Vuonna 1925 yritys nimeltä Houldina Radio Control esitteli Yhdysvalloissa ensimmäisen kauko-ohjatun auton, jonka ohjaus perustui radiotekniikkaan. Autoa ohjattiin etäyhteydellä perässä ajavasta autosta. Esittely tapahtui julkisella tiellä. Tätä voidaan pitää ensimmäisenä sovelluksena autonomisesta ajoneuvosta. [3.]

Seuraava suuri harppaus autonomiseen ajoneuvon otettiin vasta 1980-luvulla, jolloin saksalainen insinööri Ernest Dickmann ja Münchenin yliopisto varustivat Mercedes Benzin pakettiauton kameroilla autonomista ajamista varten. Autossa oli kaksi kameraa, 16 bittinen Intelin prosessori ja ohjelmistopaketti. Ajoneuvon testit sujuivat niin hyvin, että Dickmann sai jatkokehitystä varten rahoitusta EUREKAlta. Jatkokehityksenä Dickmann

varusti kaksi Mercedes Benz S-sarjan autoa neljällä kameralla, tutkilla ja useilla tietokoneilla. Autoista käytettiin nimityksiä VaMP ja VITA-2 ja niillä oli mahdollista ajaa Saksasta Kööpenhaminaan 95% autonomisesta normaalin liikenteen seassa. [3.]

Isoin lähtölaukaus autonomiseen ajoneuvoon tapahtui vuosina 2004 – 2007 Pentagonin järjestämässä Yhdysvaltojen asevoimien tutkimusorganisaation DARPA:n (Defense Advanced Research Projects Agency) Grand Challenge -kilpailuissa. [4.]

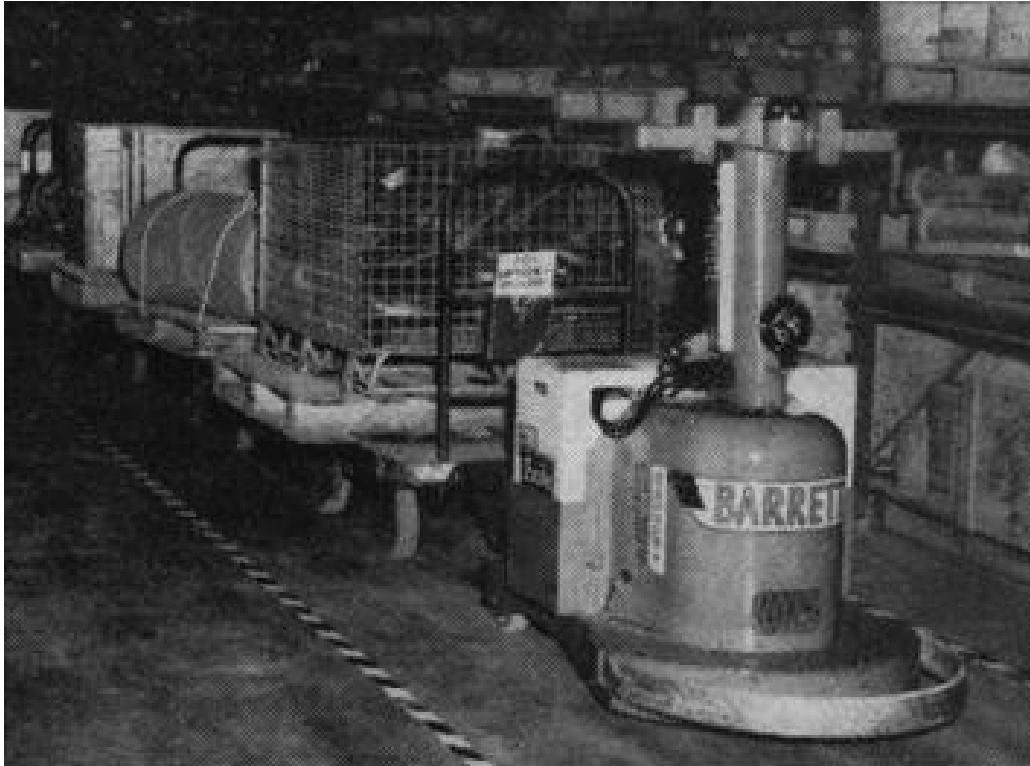
Kyseessä on autonomisten ajoneuvojen kilpailu, jossa ensimmäinen tiimi, joka läpäisee kelpoisuustestin sarjan saa palkinnoksi miljoonan dollarin rahapalkinnon. Kilpailun tavoitteena on, että ajoneuvo navigoi itsenäisesti 142 mailin matkan aavikon yli Nevosta Primiin. Ensimmäisenä vuonna yksikään ajoneuvoista ei läpäissyt testejä, eikä selviytynyt maaliin. Parhaiten pisteytetty ajoneuvo matkusti ainoastaan 7,5 mailia, joten palkintoja ei jaettu. [4.]

18 kuukautta myöhemmin järjestettiin seuraava Grand Challenge -kilpailu, jossa pääpalkintona oli 2 miljoonaa dollaria. Kilpailuun osallistui 195 ajoneuvoa ja näistä viisi ajoneuvoa selvisi 132 mailin matkan maaliin. Kilpailun nopein ajoneuvo oli Stanfordin yliopiston kehittämä ”Stanley”, joka selviytyi maaliin kuudessa tunnissa ja 53 minuutissa, voittaen 2 miljoonan dollarin palkintopotin.

Vuonna 2007 järjestettiin järjestyksessään kolmas Grand Challenge -kilpailu. Kilpailusta oli tehty aiempia kilpailuja haastavampi, sillä nyt testit tapahtuivat alueella missä oli muuta liikkuvaa liikennettä, erilaisia esteitä ja liikennesääntöjä, joita ajoneuvon tuli noudattaa. Kilpailuun osallistui 11 ajoneuvoa ja näistä kuusi suoritti pääsi maaliin asti noudattaen kilpailun sääntöjä. Carnegie Mellon Universityn johtama ”Tartan Racing” -joukkueen ajoneuvo sai eniten pisteitä ja voitti kahden miljoonan dollarin palkintopotin. Darpan järjestämien kilpailuiden merkitys autonomisten ajoneuvojen kehityksessä on ollut merkittävä, sillä esimerkiksi nykyinen Googlen kehitystiimien runko koostuu aikanaan kilpailuun osallistuneista ja hyvin menestyneistä ylioppilastiimeistä. Autonomisten autojen kehitys on myös edistänyt erilaisten autonomisten työkoneneiden kehitystä. [4.]

Logistiikassa automaatiotrukkeja on ollut käytössä Ruotsissa jo 1970-luvulla. Vuodesta 1983 alkaen suomalainen työkonenevalmistaja Rocla on valmistanut automaatiotrukki- ja vihivaunujärjestelmiä logistiikan käyttöön. Roclan ensimmäisen vihivaunujärjestelmä ra-

kennettiin KONE Oy:lle Hämeenlinnaan. Ensimmäiset vihivaunut navigoivat induktio-ohjauksella. 1990-luvulle tultaessa navigointiohjaus tapahtui pääosin laserin avulla, joka oli monella tapaa helpompi, sillä enää ei tarvinnut sahata lattiaa rikki ja asentaa sinne navigointiohjauslankoja. Laser-ohjaus on vielä tänäkin päivänä käytössä. Nykyisin käytössä oleva laser-ohjaus perustuu vaunun katolla olevaan laser-majakkaan, jonka avulla vaunu osaa navigoida haluttua kulkureittiä pitkin ja poikkeaa korkeintaan puolisenttiä suunnastaan. [5.] Kuvassa 2 on esitetty autonomisen trukin ensimmäisiä tuotantoversioita.



Kuva 2. Autonomisen trukin ensimmäisiä tuotantoversioita [6.]

2.2 Autonomisen ajoneuvon eri tasot

Autonomiselle ajoneuvolle on määritelty viisi eri tasoa, riippuen siitä, paljonko ihmisen työtehtävistä siirretään ajoneuvon järjestelmän tehtäväksi. The Society of Automotive Engineers (SAE) J3016 Levels of Driving Automation 2018 julkaisemassa taulukossa (taulukko 1) on määritelty kaikki viisi tasoa ja näiden lisäksi on olemassa taso 0, jossa työkonessa ei ole ihmistä avustavia järjestelmiä. [7, s. 21–23.]

Taulukko 1. SAE J3016 Levels of Driving Automation 2018 [7, s.19.]

Level	Name	Narrative definition	DDT			ODD
			Sustained lateral and longitudinal vehicle motion control	OEDR	DDT fallback	
<i>Driver performs part or all of the DDT</i>						
0	No Driving Automation	The performance by the <i>driver</i> of the entire <i>DDT</i> , even when enhanced by <i>active safety systems</i> .	<i>Driver</i>	<i>Driver</i>	<i>Driver</i>	n/a
1	Driver Assistance	The <i>sustained</i> and <i>ODD</i> -specific execution by a <i>driving automation system</i> of either the <i>lateral</i> or the <i>longitudinal vehicle motion control</i> subtask of the <i>DDT</i> (but not both simultaneously) with the expectation that the <i>driver</i> performs the remainder of the <i>DDT</i> .	<i>Driver and System</i>	<i>Driver</i>	<i>Driver</i>	Limited
2	Partial Driving Automation	The <i>sustained</i> and <i>ODD</i> -specific execution by a <i>driving automation system</i> of both the <i>lateral</i> and <i>longitudinal vehicle motion control</i> subtasks of the <i>DDT</i> with the expectation that the <i>driver</i> completes the <i>OEDR</i> subtask and <i>supervises</i> the <i>driving automation system</i> .	<i>System</i>	<i>Driver</i>	<i>Driver</i>	Limited
<i>ADS ("System") performs the entire DDT (while engaged)</i>						
3	Conditional Driving Automation	The <i>sustained</i> and <i>ODD</i> -specific performance by an <i>ADS</i> of the entire <i>DDT</i> with the expectation that the <i>DDT fallback-ready user</i> is <i>receptive</i> to <i>ADS</i> -issued <i>requests to intervene</i> , as well as to <i>DDT performance-relevant system failures</i> in other <i>vehicle systems</i> , and will respond appropriately.	<i>System</i>	<i>System</i>	<i>Fallback-ready user (becomes the driver during fallback)</i>	Limited
4	High Driving Automation	The <i>sustained</i> and <i>ODD</i> -specific performance by an <i>ADS</i> of the entire <i>DDT</i> and <i>DDT fallback</i> without any expectation that a <i>user</i> will respond to a <i>request to intervene</i> .	<i>System</i>	<i>System</i>	<i>System</i>	Limited
5	Full Driving Automation	The <i>sustained</i> and unconditional (i.e., not <i>ODD</i> -specific) performance by an <i>ADS</i> of the entire <i>DDT</i> and <i>DDT fallback</i> without any expectation that a <i>user</i> will respond to a <i>request to intervene</i> .	<i>System</i>	<i>System</i>	<i>System</i>	Unlimited

Taso 0 ei automaatiota

Kuljettaja vastaa kaikista ajoneuvon hallintaan liittyvistä tehtävistä.

0-taso voi sisältää kuljettajaa avustavia visuaalisia tai äänimerkillä varustettuja järjestelmiä. Esimerkiksi erilaisia tutkia tai kameroita. [7, s. 21–23.]

Taso 1 kuljettajan tuki

Ajoneuvossa voi olla kuljettajia avustavia järjestelmiä, jotka voivat puuttua ohjaukseen ja esimerkiksi kiihdyttämään tai jarruttamaan ajoneuvoa. Kuljettaja vastaa ajoneuvon ajamisen dynaamisesta alueesta. [7, s. 21–23.]

Taso 2 osittainen automaatio

Osittaisen automaation tasossa ajoneuvon järjestelmä voi kiihdyttää, jarruttaa ja ohjata ajoneuvoa ympäristöstä saadun tiedon pohjalta. Kuljettaja vastaa edelleen ajamisen dynaamisesta alueesta. [7, s. 21–23.]

Taso 3 ehdollinen automaatio

Ehdollisessa automaatiossa ajoneuvon järjestelmä kattaa kaikki ajamisen osa-alueet. Ajoneuvo voi ohjata itseään pitkiäkin aikoja, mutta vaatii silti kuljettajan, joka tarvittaessa voi ottaa ajoneuvon hallintaan. [7, s. 21–23.]

Taso 4 korkea automaatio

Ajoneuvon järjestelmä pystyy ohjaamaan täysin ajoneuvoa ja hallitsee haastavatkin tilanteet. Tarvitsee edelleen kuljettajan ottamaan ajoneuvon tarvittaessa haltuun. Mikäli kuljettaja ei ota ajoneuvoa haltuun tarvittaessa, kykenee ajoneuvo pysäyttämään ja sammuttamaan itsensä turvallisesti. [7, s. 21–23.]

Taso 5 täysautomaatio

Täysin autonominen ajoneuvo voi ohjata itseään itsenäisesti kaikissa olosuhteissa ja ajoympäristöissä [7, s. 21–23].

Tässä opinnäytetyössä keskitytään ainoastaan tason 5 täysin automatisoituihin työkoneluihin, eli autonomisiin työkoneisiin. Työ on rajattu koskemaan vain rahtiterminaaliin soveltuvia autonomisia vastapainotrukkeja ja lavansiirtovaunuja.

2.3 Trukkityypit

Rahtiterminaaleissa käytetään pääosin kahdenlaisia materiaalinkäsittelytyökoneita: vastapainotrukkeja ja lavansiirtovaunuja. Suurin osa nykyisellään käytössä olevista materiaalinkäsittelytyökoneista on automaatiotason 0 koneita. Tämä tarkoittaa sitä, että kuljettaja vastaa työkoneen ohjaamisesta ja toimilaitteiden käytöstä itsenäisesti. [8.] Kuvassa 3 on kuvattu perinteinen Yale MP20XUX-lavansiirtovaunu, jollaisia on käytössä useammalla suomalaisella toimijalla omassa rahtiterminaalissa.



Kuva 3 Yale MP20XUX [9.]

Tämän työn aihe on rajattu vertaamaan autonomisia vaihtoehtoja näille perinteisille lavansiirtovaunuille ja vastapainotrukeille. Vertailussa otetaan huomioon tämän hetkiset vaihtoehdot perinteisille työkoneille ja verrataan niiden välisiä eroavaisuuksia, sekä mahdollisia hyötyjä ja haittoja. [8.] Kuvassa 9 on esitelty perinteinen vastapainotrukki



Kuva 4 Yale ERP16-20VF [9.]

2.4 Tietoturva ja työturvallisuus

AGV:n toiminnan kannalta tärkeässä roolissa on työturvallisuus ja tietoturva. AGV työskentelee ihmisten kanssa, ja siksi on erittäin tärkeää, että AGV on varustettu standardien mukaisilla turvalaitteilla. Kyberhyökkäykset ovat yleistyneet ja voivat pahimmillaan laimauttaa koko toiminnan ja aiheuttaa mittavia vahinkoja, siksi tietoturvan merkitys on huomattava osa AGV-järjestelmän toimintaa.

2.4.1 Työturvallisuus

AGV-järjestelmää suunniteltaessa ja asennettaessa, tavarantoimittajan tulisi tehdä riskienkartoitus yhdessä käyttäjän kanssa, sillä kaikkia turvamääräyksiä ei ole aina mahdollista noudattaa [8.] Kuvassa 5 kuvattu riskienarviointiprosessi [10.].



Kuva 5. Riskienarviointiprosessi. [10.]

AGV työskentelee pääsääntöisesti ihmisten kanssa ja siksi on erittäin tärkeää, että AGV on varustettu SFS-EN 1525-standardien mukaisilla turvalaitteilla. AGV:n turvallisuuselementit voidaan jakaa kahteen eri kategoriaan, aktiivisiin ja passiivisiin. [8.] Kuvassa 6 on esitelty laserskannerin turva-alue [11].



Kuva 6. AGV-ajoneuvon laserskannerin turvaetäisyys. [11.]

Tärkeimpiä aktiivisia turvalaitteita tai sensoreita ovat

- laserskanneri tai törmäyksenestolaite
- puskuri, joka pysäyttää AGV:n kontaktin havaitessa
- hätäpysäytyspainike
- turva-PLC.

Tärkeimmät passiiviset turvalaitteet ovat

- varoitusvalot
- varoitussänet
- AGV:hen kiinnitetyt varoitusmerkit.

AGV:n käytössä on muutama pääsääntö.

AGV:lla tulee olla 0,5 metrin turvaetäisyys esteisiin ja muihin ajoneuvoihin, mukaan lukien kuormat. Mikäli alue ei täytä 0,5 metrin vähimmäisvaatimusta, tullaan se käsittelemään vaara-alueena tai rajoitettuna alueena ja tulisi näin ollen olla selvästi merkattuna

joko kyltein, viivoin, valoin tai jollain muulla tavalla. SFS-EN-1525 standardissa määritellään rajoitettu alue seuraavanlaisesti:

A.3.1 Rajoitettu alue. Rajoitetulla alueella tulee raja-aitana olla standardin EN 953 vaatimukset täyttävä, kiinteä suojus, joka estää henkilöiden pääsyn alueelle niin, ettei alueella liikkuvat kohteet aiheuta loukkaantumisen vaaraa.

Vaara-alueet ja rajoitetut alueet tulisi olla määritellyt jo AGV:n reittien suunnitteluvaiheessa, joko laitteen toimittajan tai käyttäjän toimesta. Käyttäjän vastuulla on vaara-alueiden selkeä merkkäminen joko kyltein, viivoin, valoin tai jollain muulla tavalla. Käyttäjän tulee olla tarkkana vaara-alueiden merkkäamisen kanssa, jotta välttyttäisiin sekavien merkkien aiheuttamista vaaratilanteista. SFS-EN 1525 standardissa määritellään vaara-alue seuraavanlaisesti:

A.3.2 Vaara-alue. Alue, jolla on riittämätön etäisyys (ks. A.2.3) tai jota ei voi suojata henkilöidentunnistamislaitteilla (ks. 5.9.5.7) tulee määritellä vaara-alueeksi ja merkitä sen mukaisesti. Alueet tulee olla sopivilla kilvilla tai ensisijaisesti lattiamerkinnöillä selvästi osoitettu. Tulee välttää erehtymismahdollisuutta muitten merkintöjen tai kilpien kanssa.

Ajoneuvosta katsottuna alue, jossa on alle 2,1 metriä turvaetäisyyttä saattaa olla riski henkilökunnalle ja ajoneuvon tulisi alueelle tultuaan hidastaa ajonopeuttaan ja varoittaa äänimerkillä. Kuvassa 7 on esitelty AGV, jossa on laserskannerit ajoneuvon ylä- ja alaosassa.



Kuva 7. AGV-ajoneuvon turvalaserit ylä- ja alaosassa. [12.]

Jos ajoneuvon ajoväylällä on hätäpoistumistie, on maksiminopeus rajoitettava 0,3 m/s ja aluetta tulisi käsitellä vaara-alueena [9].

Mikäli ajoneuvon ajoväylällä ei ole hätäpoistumistietä, tulee aluetta käsitellä rajoitettuna alueena. Tavarantoimittajan ja käyttäjän tulisi käydä yhdessä läpi sopivat turvallisuuteen liittyvät toimenpiteet. Hätäpysäytyspainike tulisi sijaita ajoneuvossa maksimissaan 60 cm päässä käyttäjästä. [8.]

2.4.2 Tietoturva

AGV tai mikä tahansa älyllä varustettu laite voidaan liittää esineiden internetin (IoT Internet of Things) kautta integroituun tietojärjestelmään. Toisiinsa ja internettiin yhdistetty järjestelmä altistaa laitteet kyberhyökkäyksille. Kyberrikolliset voivat hyödyntää järjestelmän haavoittuvuuksia ja ottaa yksittäisen laitteen, järjestelmän osan tai koko järjestelmän hallintaan ja aiheuttaa merkittäviä vahinkoja. Tästä syystä tietoturvauhkiin ei pidä suhtautua kevyesti. Liitteessä 1 esitelty taulukko AGV:n tietoturvan riskien kartoituksesta ja hallinnasta. [13, s. 8–10.]

3 5g-verkko

Viidennen sukupolven langattomasta matkapuhelinverkosta käytetään nimitystä 5G-verkko. Kehittyneissä maissa 5G -verkot ovat jo pienimuotoisessa käytössä. [14, s. 6.]

5G-verkon myötä on mahdollista päästä tiedonsiirrossa jopa alle 1 millisekunnin viiveeseen. Viiveellä tarkoitetaan aikaa, mikä signaalilla kestää siirtyä kohteeseen. Esimerkiksi etäohjattavien laitteiden ja itseajavien ajoneuvojen kohdalla on välttämätöntä, että viive kommunikoinnissa on mahdollisimman lyhyt. 5G-verkon myötä tiedonsiirrosta tulee niin nopeaa, että se tulee mullistaa liikenteen, viestinnän, teollisuuden ja viihteen seuraavan vuosikymmenen aikana. 5G-verkko on merkittävässä roolissa mahdollistamassa monia uusia teknologiasovelluksia, kuten esimerkiksi teollisuuden automaatioissa, esineiden internetissä, lisätyn todellisuuden sovelluksissa ja robottiliikenteessä. 5G ei kuitenkaan nykyisellään ole vielä tarpeeksi luotettava äärimmäistä luotettavuutta vaativiin kohteisiin, kuten terveydenhuollon, liikenteen ja teollisuuden sovelluksiin. 5G-verkossa on huomattavasti nopeampi tiedonsiirtokyky ja kapasiteetti – parhaimmillaan noin 10 Gbp / s. [14, s. 6.]

Verkon etuja ovat mm. suuri skaalautuvuus, pienempi virrankulutus, mahdollisuus isompiin laitemääriin, tietoturvallisuus ja vakaampi verkkoyhteys. Näistä tärkeimpinä ominaisuuksina voidaan pitää useiden laitteiden yhtäaikaista tukemista ja pienempää virrankulutusta etenkin 5G-IoT ympäristössä. IoT-laitteiden määrän kasvaessa on välttämätöntä, että myös verkko pysyy kasvussa mukana. Itseohjautuvien ajoneuvojen lisääntyessä myös ajoneuvojen välinen kommunikaatio lisääntyy merkittävästi, siksi onkin tärkeää, että verkon skaalautuvuus on korkeaa etenkin ruuhkaisilla alueilla. Korkealla skaalautuvuudella tarkoitetaan tukiasemien kykyä tukea tukiaseman kautta useita toisilleen tai internettiin kommunikoivia laitteita. [14, s. 6.]

5G-IoT:n myötä ajoneuvot voivat kerätä tietoja ympäristöstään ja seuraamaan muita ajoneuvoja reaaliajassa. Tätä tietoa voitaisiin hyödyntää reaaliaikaisesti esimerkiksi reitinsuunnittelussa. Tämän avulla on mahdollista tehostaa liikennettä, tehdä ympäristöstä turvallisempi ja vähentää kolareita. [14, s. 6.]

IoT-laite voi olla mitä tahansa yksinkertaisesta lämpömittarista monimutkaiseen teollisuusjärjestelmään ja tästä syystä IoT-laitteiden standardisointi on jäänyt pääosin niiden kehittäjien vastuulle. Tämä aiheuttaa ongelmia eri valmistajien laitteiden väliseen kommunikointiin. 5G-IoT tavoitteena on kerätä dataa mahdollisimman tehokkaasti ympäristöstä ja käsitellä dataa mahdollisimman tehokkaasti. Tästä johtuen standardivaje aiheuttaa hidasteita IoT-järjestelmän yleistymiselle. [14, s. 6.]

4 Navigointi

AGV:ssa tärkein ominaisuus on sen navigointikyky, sen takia on tärkeää, että navigointi valitaan käyttökohde ja elinkaarikustannukset huomioiden. Navigoinnilla tarkoitetaan autonomisen trukin kykyä liikkua erilaisissa tiloissa ja tietää sen oma sijainti joka hetki. Sijaintitiedoilla on tarkoitus optimoida sen suorituskyky ja varmistaa turvallinen toiminta logistiikan tiloissa. Navigointitapaa valittaessa on todella tärkeää valita oikeanlainen toimintatapa vastaamaan sen toimintaympäristöä. Jokaisella toimintatavalla on sen omat hyödyt. [15.]

Seuraava on yksityiskohtainen johdanto- ja sovellusskenaario erilaisista navigointiohjausmenetelmistä, jotka tarjoavat kuluttajille viitteitä valita sopivat navigointiohjemenetelmät.

Sähkömagneettinen ohjaus

Sähkömagneettiin perustuva ohjaaminen on yleisesti käytetty ohjausmenetelmä. Menetelmä perustuu upotettuun metallilankaan automaattisen ajoneuvon ajoväylällä. Metallilankaan ladataan matalataajuinen jännitevirta, joka luo magneettikentän langan ympärille. Automaattisen ajoneuvon sähkömagneettinen anturi tunnistaa sähkömagneettisen kentän. Navigointi perustuu vahvaan ja heikkoon magneettikentän tunnistamiseen ja seurantaan. [15.]

Sähkömagneettinen ohjaaminen on suhteellisen perinteinen ohjausmenetelmä. Toteutusmuoto on upottaa metallilanka automaattisen opastetun ajoneuvon ajoväylälle ja ladata matalataajuinen ja matala jännitevirta metallilankaan magneettikentän muodostamiseksi ja viedä sähkömagneettinen kenttä ajoneuvon sisäisen sähkömagneettisen anturin läpi. [15.]

Sähkömagneettisen ohjauksen suurin etu on se, että metallilanka on upotettu lattiaan, eikä näin ollen vaurioidu helposti. Ohjauksen periaate on yksinkertainen ja luotettava, sen hyödyt ovat alhaiset valmistuskustannukset, eikä valot ja äänet aiheuta häiriötä sen navigointiin. Haittapuolina on metallilangan asentamisen hankaluus, ferromagneettisten aineiden kuten metallin aiheuttamat vaikutukset induktioon, myös ajoväylän muuttaminen ja laajentaminen on vaikeaa ja kallista. Sähkömagneettinen ohjaus vaatii suhteellisen yksinkertaisen reitin ja vähäiset muutokset ajoneuvon ajoväyliin. [15.]

Magneettinauhaan perustuva ohjaus

Magneettinauhaan perustuva ohjaus on hyvin samanlainen, kuin sähkömagneettinen ohjaustapa. Magneettinauha perustuu, magneettilangan tavoin lattiaan asennettavaan nauhaan, poikkeuksena se, että sitä ei upoteta lattiaan vaan liimataan ajoväylän pintaan. Ajoneuvon ohjaus perustuu magneettilangan tavoin sähkömagneettisen anturin tunnistamaan magneettikenttään. Magneettinauhan suurimpina etuina on, että sen tekniikka on pitkälle kehittynyttä luotettavaa, alhaiset valmistuskustannukset, sekä nauhan helppo asentaminen lattiaan. Magneettinauhalla toteutettavaa ajoreittiä on helppo pidentää ja muuttaa, verrattuna magneettilankaan, joka on upotettu lattiaan. [15.] Kuvassa 8 on havainnollistettu sähkömagneettinen anturi.



Kuva 8. Sähkömagneettinen anturi. [16.]

Nauhan etuina on myös, että sillä toteutettava ajoväylä on silmillä nähtävissä. Magneettinauhan avulla navigoidessa ei magneettilangan tavoin häiritse valo eikä ääni. Haittapuolina magneettinauhalla, että sillä toteutettava ajoväylä on lattian pinnassa ja altis mekaanisille vaurioille ja pilaantumiselle. Magneettinauha vaatii myös säännöllistä huoltoa ja on herkkä ferromagneettisille aineille, kuten metalleille. Magneettinauhalla toteutetussa ohjauksessa automaattinen ajoneuvo pystyy ainoastaan toteuttamaan tehtävänsä ainoastaan liikkumalla kiinteää magneettinauhaa pitkin, eikä pysty muuttamaan tehtäväänsä. Magneettinauha sopii magnetoimattomiin tiloihin ja ei-metallisiin lattiapintoihin. [15.]

Magneettisiin nauloihin perustuva ohjaus

Magneettiseen naulaan perustuva ohjaus hyödyntää lattiaan asennettavia nauloja navigointiin. Magneettinen naulanavigointi ja magneettinauhanavigointi vaativat anturin AGV:n vasemman ja oikean suunnan poikkeamien havaitsemiseksi. Anturit sijaitsevat nauhan tai naulan molemmin puolin ja pitävät näin ajoneuvon tarkasti ajoväylällään. Ero magneettisen naulanavigoinnin ja magneettinauhanavigoinnin välillä on se, että magneettinauha nimensä mukaan nauhaa, joka liimataan lattiaan, kun taas naulat asetetaan sopivin välimatkoin toisistaan. Magneettinaulanavigoinnin hyötyjä ovat edulliset asennuskustannukset, hyvä häiriönsietokyky, kulutuskestävyys, happojen ja alkalien kestävyys. Haittapuolina magneettinaulanavigoinnilla on sen herkkyyden ferromagneettisille materiaaleille, sekä muokatun ajoväylän suuruus. [15.]

QR-koodiin perustuva ohjaus

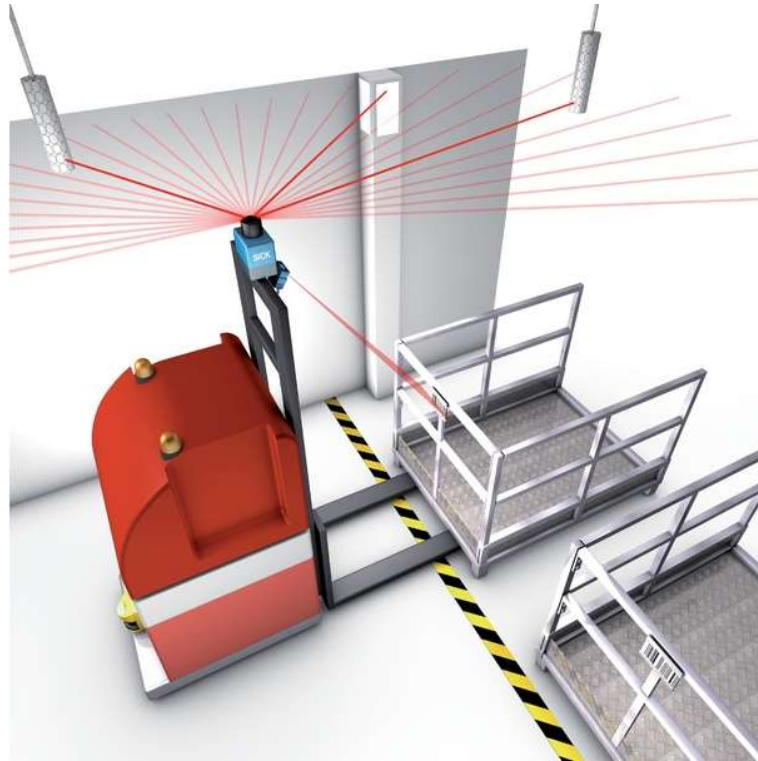
Kaksiulotteinen koodi ohjaa logon koordinaatit maassa olevan kaksiulotteisen koodin läpi. Kaksiulotteinen koodiohjain on samanlainen kuin magneettinen nauhaohjain, paitsi että koordinaattimerkit ovat erilaisia. Kaksiulotteisen koodinavigoinnin periaate on, että automaattinen opastettu auto skannaa maanpinnan QR-koodin kameran kautta ja saa nykyisen sijaintitiedon analysoimalla kaksiulotteista kooditietoa. Kaksiulotteinen koodinavigointi yhdistetään usein inertiaaliseen navigointiin tarkan sijainnin määrittämiseksi. [15.]

Optinen nauhaan perustuva ohjaus

Optinen nauhaan perustuva ohjaus on navigointimenetelmä, jossa lattiaan asennetaan teippinauhaa tai maalattua viivaa AGV:n halutulle reitille. AGV:n sisäinen optinen anturi tunnistaa kuvasignaalin ja käyttää sitä navigointiin. Optinen nauhaan perustuva ohjaus on hyvin samanlainen, kuin magneettiseen nauhaan perustuva ohjaus paitsi, että se ei tarvitse magneettikenttää navigoinnissa. Optisen nauhan hyötyjä on sen helppo asentaminen, ajoväylän muutostyöt ja alhaiset kustannukset. Huonoja puolia on nauhan alttius likaantumiselle ja vaurioitumiselle, sekä heikko paikannustarkkuus. Optinen nauha vaatii puhtaan ja tasaisen työympäristön. [15.]

Lasernavigointiin perustuva ohjaus

Lasernavigoinnilla tarkoitetaan heijastimen sijaintiin perustuvaa ohjausta. Heijastimeen perustuva lasernavigointi toimii niin, että AGV:n ajoväylälle asennetaan tarkka heijastin ja AGV:n runkoon asennetaan laserskanneri. AGV:n runkoon kiinnitetty laserskanneri lähettää lasersäteitä ja ajoväylälle asennetut useat heijastinsarjat heijastavat lasersäteet takaisin vastaanottimeen. AGV:n ohjain tallentaa kulman, jossa pyörivä laserpää kohtaa heijastimen. Saatujen kulma-arvojen perusteella ohjain pystyy laskemaan absoluuttiset koordinaatit, jolloin AGV pystyy saavuttamaan todella tarkan laserohjauksen. [15.] Kuvassa 9 havainnollistettu lasernavigoinnin toimintaa.



Kuva 9. Lasernavigointiin perustuva ohjaus, joka hyödyntää heijastimia ohjauksessa. [17.]

Lasernavigoinnin hyötyjä ovat ajoväylien suunnittelun helppous, tarkkuus, sekä sen muokautuvuus erilaisiin ympäristöihin. Huonoja puolia ovat sen kalliit kustannukset ja se, että heijastinta ei voi suojata tai peittää, sillä se vaikuttaa AGV:n navigointiin. [15.]

Luonnolliseen navigointiin perustuva ohjaus

Luonnolliseen navigointiin perustuva ohjaus on myös laseriin perustuva ohjaustyyppi. Toimintaperiaatteena on sen kyky tunnistaa ympäröivä ympäristö sen laser-anturin avulla. Ero lasernavigointiin perustuvassa ohjauksessa on se, että luonnollinen navigointi ei tarvitse heijastimia sen ajoväylällä, vaan se käyttää hyödyksi ympäristön muotoja, joita se skannaa laserilla. Luonnollisen navigoinnin hyötyjä ovat sen halvat investointikustannukset ja yksinkertainen tekniikka. Huonoja puolia on sen, sopeutuvuus äkillisesti muuttuvaan ympäristöön. [15.]

GPS-navigointiin perustuva ohjaus

GPS (Global Positioning System) -navigointiin perustuva ohjaus käyttää ohjaukseen GPS-antureita sijainti- ja suuntatietojen hankkimiseksi satelliiteilta. GPS-navigoinnin

hyödyt ovat halvat hankkimiskustannukset. Huonoja puolia GPS-navigoinnilla on sen alhaisessa tarkkuudessa ja sijaintivirheet, jotka ovat useita metrejä. [15.]

Inertiaaliseen navigointiin perustuva ohjaus

Inertiaaliseen navigointiin perustuva ohjaus käyttää hyväksi liikkuvan robotin sisäisiä antureita sijainnin tarkentamiseksi. Tekniikka perustuu tavallisemmin optisiin koodereihin tai gyroskooppeihin. Yhdessä ajoneuvossa voi olla molempia tekniikoita. Liikkuvassa ajoneuvossa on tyypillisimmin valosähköinen kooderi, joka on kiinnitetty ajoneuvon pyörään ja liikkeen aikana liikkuva ajoneuvo käyttää kooderin pulssisignaalia suorittaakseen karkean laskennan ajoneuvon liikkeen määrittämiseksi. Gyroskoopin avulla voidaan määrittää liikkuvan ajoneuvon kiihtyvyys ja kulmanopeus. Yhdistämällä kooderista ja gyroskoopista saatavat tiedot, saadaan verrattain tarkka sijaintitieto ajoneuville. Inertiaalinavigoinnin etuna ovat alhaiset kustannukset ja hyvä paikannustarkkuus lyhyillä matkoilla. Pidemmillä matkoilla virheen määrä kumuloituu ja lopulta tarkkaa sijaintitietoa ei ole saatavilla järkevällä toleranssilla. Tästä syystä johtuen inertiaalista navigointia käytetään tavallisimmin muiden navigointimuotojen tukena. [15.]

Yhdistelmänavigointiin perustuva ohjaus

Yhdistelmänavigoinnilla tarkoitetaan useamman edellä mainitun navigointimuodon yhdistämistä. Yhdistämällä erilaisia navigointimuotoja, voidaan korostaa eri navigointimenetelmin vahvuuksia ja parantaa navigoinnin tarkkuutta ja luotettavuutta. Yhdistelmänavigoinnin avulla on mahdollista sopeuttaa ajoneuvo toimimaan mahdollisimman monissa erilaisissa ympäristöissä. Yhdistelmänavigoinnin navigointimenetelmät valitaan ajoneuvon navigointitarkkuuden ja työympäristön perusteella. [15.]

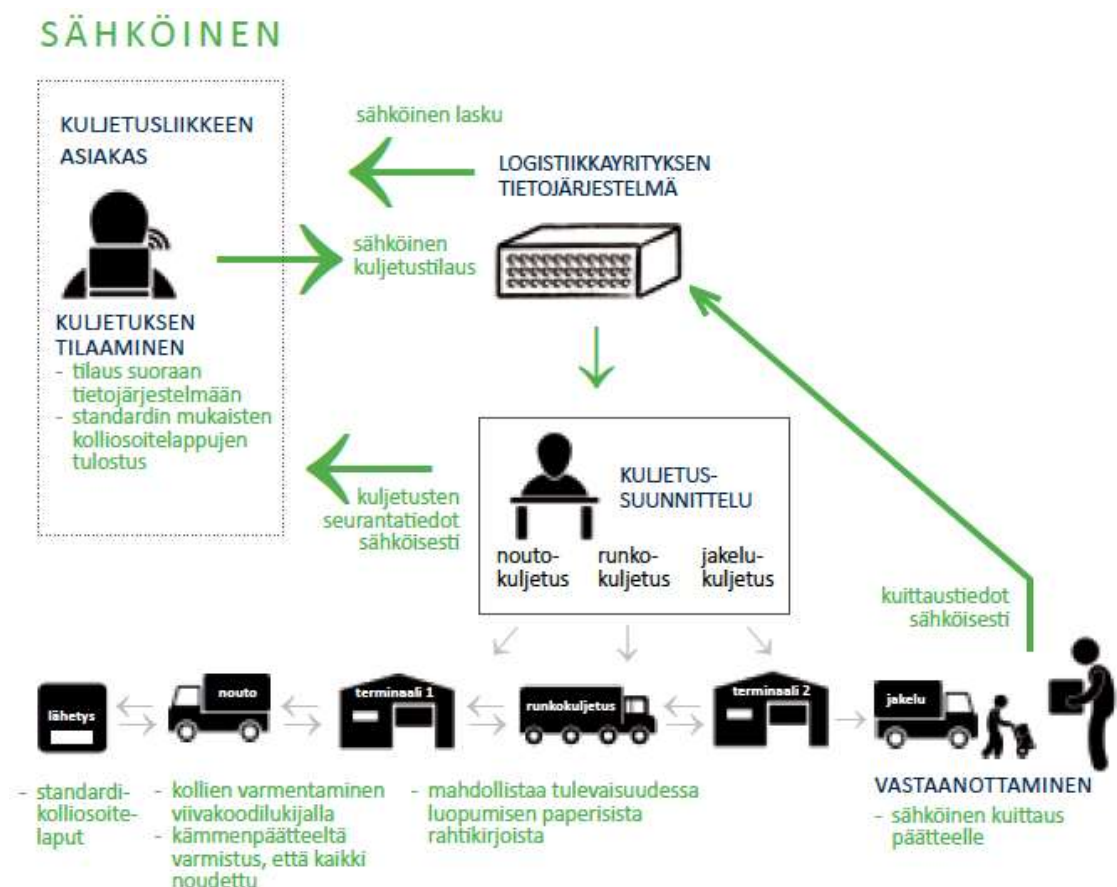
5 Logistiikka rahtiterminaalissa

Rahtiterminaalilla tarkoitetaan pistettä, jossa kaksi eri liikennemuotoa yhdistyvät. Sillä ei tarkoiteta ainoastaan erilaisten kuljetusmuotojen yhdistämistä, vaan sillä voidaan tarkoittaa myös kuorma-autotermiinaalia, jossa jakelukuljetukset yhdistyvät runkokuljetuksiin ja runkokuljetukset jakelukuljetuksiin. Tärkein asia mikä erottaa rahtiterminaalin varastoinnista on se, että kaikella saapuvalla tavaralla on terminaaliin saapuessa jatko-osoite selvillä. [18.]

Terminaalissa ei tavallisesti varastoida mitään, vaan lähetysten kiertonopeus on nopea ja parhaimmillaan terminaaliin purettu tavara lastataan saman tien jatkokuljetukseen. [18.]

Terminaaliin vastaanotettavat lähetykset ovat valmiiksi kuljetusta varten pakattuja omalla kuljetusalustalla varustettuja lähetysiksi. Tavallisesti näille ei tehdä minkäänlaista jatkjalostusta terminaalissa, pois lukien sekalavat, jotka lajitellaan terminaalissa. [18.]

Lähetysten saapuessa terminaaliin lähetys kuljetetaan joko lavansiirtovaunua tai vastapainotrukkia hyödyntäen terminaalin purkualueelta terminaalin lastausalueelle, jos lähetys lastataan vastapainotrukkia hyödyntäen joko runkokuljetus tai jakokuljetus kuormatilaan. Lähetysten viivakoodia tai RFID-tunnistetta skannataan tavallisesti useamman kerran kuljetuksen aikana, jotta lähetysten liikkeistä saadaan mahdollisimman luotettavaa dataa. [18.] Kuvassa 10 on kuvattu nykyaikainen sähköinen terminaalin logistiikka-prosessi.



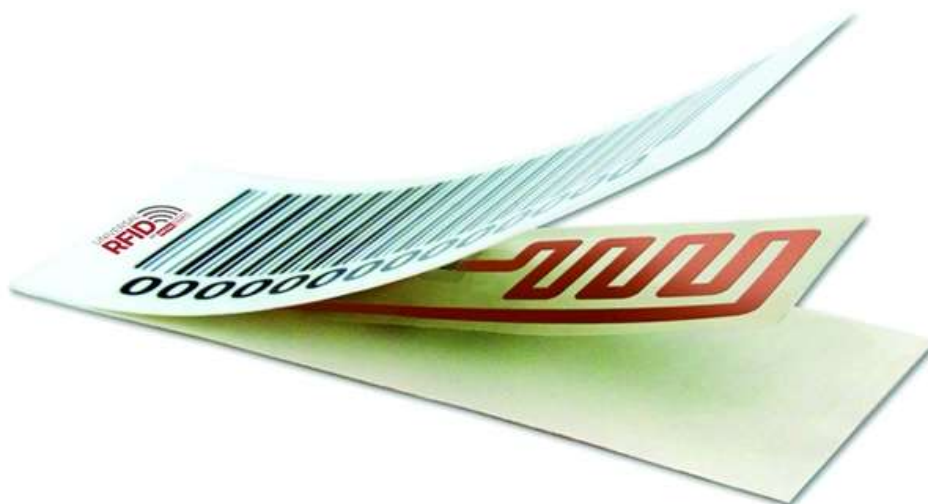
Kuva 10. Sähköinen logistiikkaprosessi [19.]

Sähköisen prosessin myötä logistiikasta saatavan datan määrä on kasvanut huomattavasti. Saadun datan avulla logistiikkaprosessia on mahdollista kehittää aiempaa tehokkaammaksi. [18.]

Mikäli AGV-ajoneuvoa halutaan hyödyntää rahtiterminaalissa, vaatisi se sen, että perinteinen viivakoodi korvattaisiin RFID-tunnisteella, jotta ajoneuvo voisi tunnistaa oikeat lähetykset ja viedä ne oikeaan paikkaan terminaalissa.

RFID

RFID eli radiotaajuustunniste tulee sanoista Radio Frequency IDentification. RFID:tä käytetään radioaaltojen välillä tapahtuvaan tunnistukseen. Tunnistukseen tarvitaan kaksi osapuolta lukijalaitte ja tunniste. Tunnistuksessa lukijalaitte lähettää antenninsa kautta signaalin, jolla pyytää lähellä olevia tunnistimia lähettämään tietonsa lukijalaitteelle. Tunnisteen vastaanotettua signaalin, lähettää tunniste pienen antenninsa kautta tarvittavat tiedot lukijalaitteelle. Lukijalaitteen vastaanotettua tunnisteen lähettämät tiedot se pystyy tunnistamaan mistä tunnisteeesta on kyse. Tunnisteeseen voidaan tallentaa esimerkiksi tavaralähetyksen paino, mitat, osoitetiedot. Kuvassa 11 on esitelty passiivista RFID-tunnistetta.



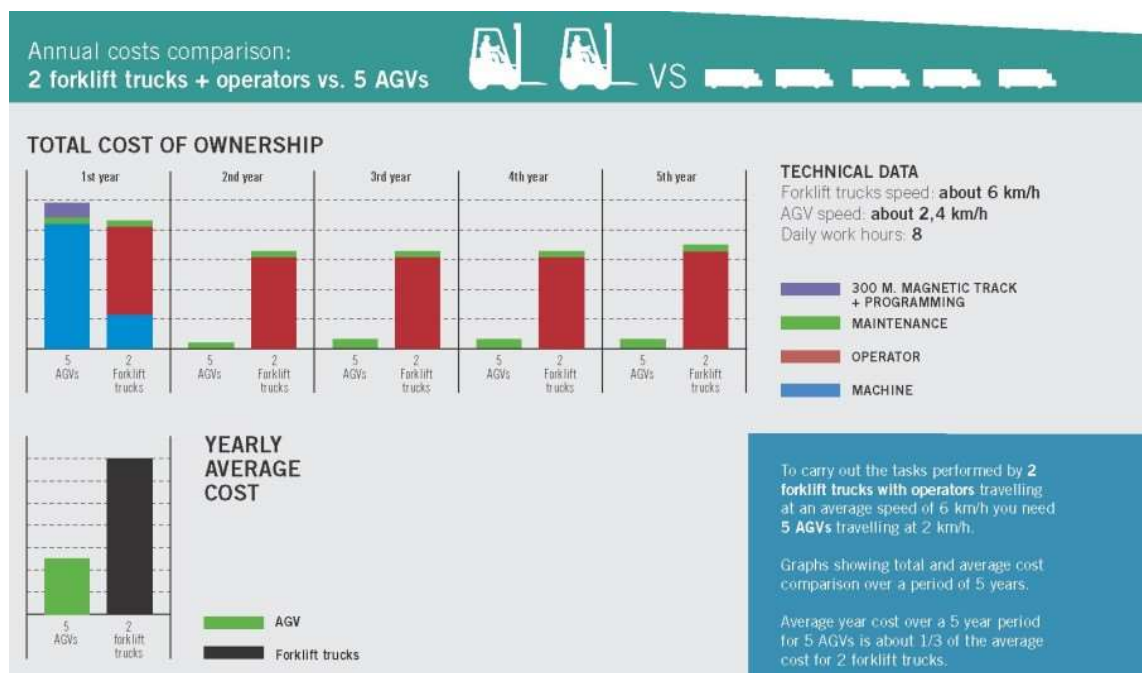
Kuva 11. Passiivinen RFID-tunniste [20.]

RFID:t ovat erittäin hyödyllisiä varsinkin logistiikan alalla, koska lukijalaite ja tunnisteiden viestintä tapahtuu radiotaajuuksien välityksellä. Perinteiseen viivakoodiin verrattuna RFID:n hyödyt ovat suuret, sillä toisin kuin viivakoodi, lukijalaite ja tunniste eivät tarvitse näköyhteyttä luodakseen yhteyden toisiinsa. [21.]

6 Autonomisen trukin hyödyt ja haitat rahtiterминаalissa

6.1 Hyödyt

Perinteiseen vastapainotrukkiin verrattuna AGV-trukki on huomattavan kustannustehokas ratkaisu. Kahteen vastapainotrukkiin verrattuna viiden AGV-ajoneuvon investoinnin kuoletusaika on noin viisi vuotta, kun otetaan huomioon myös kulut mitä trukkia ajavasta henkilöstä syntyy. Vertailussa on käytetty trukin keskinopeudeksi 6km/h ja AGV-ajoneuvon keskinopeudeksi noin 2,4 km/h, jolloin viisi AGV-ajoneuvoa vastaavat kahta perinteistä vastapainotrukkia. Kuvassa 12 on tarkempi kustannusvertailu AGV:n ja perinteisen trukin välillä. [22.]



Kuva 12. Kustannusvertailu AGV:n ja perinteisen trukin välillä [22.]

Automaation aiheuttamat muutokset tapahtuvat nopeimmin terminaaleissa ja varastoissa. Automaation kehitys on nopeaa ja hinta laskee jatkuvasti. Ihmiset ja koneet voivat tehdä töitä yhdessä, minkä ansioita osittainen automatisointi on mahdollista, eikä suuria

investointeja tarvita. Osittaisen automaation ansiosta voidaan yksinkertaiset koneelle soveltuvat työt automatisoida ja jättää monimutkaiset ihmismieltä vaativat työt ihmiselle. Taulukossa 3 on esitelty pitkän aikavälin automaatioisoinnin vaikutuksia pitkällä aikavälillä logistiikan eri osa-alueilla. [23.]

Henkilöstökulut varastoissa ja logistiikkakeskuksissa ovat jopa 60% kokonaiskustannuksista ja tilakustannukset jopa 30 %. Kulujen suuruuden takia työtä tehostavat ja ihmistyönteja poistavat automaatio, robotiikka ja tietojärjestelmät ratkaisut ovat järkeviä. Investoinnit ovat suuria ja kalliita, mutta saatava hyöty on merkittävä. Järjestelmillä voidaan tehostaa tilankäyttöä ja tätä kautta rakennuksista voidaan tehdä korkeampia, jolloin rakennuksen kuutiohinta rakentamisessa laskee. Automaatiojärjestelmän myötä myös laatu ja työturvallisuus parantuvat, sekä virheet ja vauriot vähentyvät. [23.]

Taulukko 3. Automaation ja digitalisaation vaikutuksia logistiikan eri osa-alueilla pitkällä aikavälillä [23.]

	Autonomiset kuljetusvälineet	Automaatio soelmukohdissa	Uudet digitaaliset palvelut ja tilauskanavat	Kehittyvät tuotantoteknologiat (automaatio ja 3D tulostus)
Logistiikan joustavuus ja toimintavarmuus	Lisää operoinnin joustavuutta ja skaalautuvuutta. Kuljetusketjun automatisaatio voi vähentää esim. työtaistelusta aiheutuvia häiriöitä.		Varaston ja tilausten optimointi helpottuu; verkostomainen liiketoiminta lisää joustoa.	Mahdollistaa tuotannon hajauttamisen lähemmäs asiakasta ja pienten eräkokojen tuottamisen tehokkaasti.
Logistiikkaoperoinnin tehokkuus	Lisää tehokkuutta ja vähentää työvoimakustannuksia (erityisesti tieliikenteessä)	Lisää tehokkuutta ja vähentää työvoimakustannuksia.	Kuljetus- ja palvelutarve lisääntyvät. Kuljetusten tehokkaampi yhdistely mahdollistuu.	Ei vaikutusta.
Toimitusmäärät ja kuljetukset	Ei todennäköisesti vaikutusta.	Ei todennäköisesti vaikutusta pitkällä aikavälillä. Synergiahöyryjen takia kuljetusvirrat saattavat keskittyä solmukohtiin, mikä lisää kuljetusmatkoja.	Verkkokaupan kasvuun myötä tilausten ja lähetysten määrä kasvaa, mikä lisää pien- ja jakelukuljetuksia.	3D tulostuksen mahdollinen yleistyminen vähentää komponenttien ja osien toimitustarpeita. Kuljetustarve vähenee, kun tuotanto on lähellä markkinaa.
Logistiikan kustannukset	Merkittäviä kustannusvaikutuksia useiden mekanismien kautta.	Tehostaa logistiikkaa ja laskee yksikkökustannuksia.	Tehostaa myös pienten yritysten logistiikkaa ja laskee kustannuksia.	Kuljetustarpeen väheneminen laskee logistiikkakustannuksia.
Turvallisuus	Autonomiset ajoneuvot vähentävät merkittävästi liikenneonnettomuuksia.	Lisääntyvä automaatio parantaa työturvallisuutta.	Jakelulogistiikka lisääntyä, toisaalta ajoneuvot turvallisempia.	Ei merkittävää vaikutusta. Mahdollisesti työ-turvallisuus parantuu.
Vaikutukset ympäristöön	Vähentää merkittävästi päästöjä ajoneuvojen optimoinnin kautta. Lisäksi tulevaisuudessa suositetaan vähäpäästöisiä teknologioita.	Tehokkuuden kasvu vähentää energian tarvetta. Tuotetaan ja käytetään uusiutuvaa energiaa.	Jakamistalouteen pohjautuvat mallit vähentävät ympäristökuormitusta. Toisaalta esim. verkkokaupan kasvu voi lisätä kuormitusta.	Positiiviset vaikutukset kuljetustarpeen vähenemisen kautta.
Liikennejärjestelmän toimivuus	Sekaliikenne aiheuttaa haastetta liikennejärjestelmään, mutta siirtyminen automaatioon tehostaa liikennejärjestelmän kapasiteettia.	Ei merkittävää vaikutusta. Mahdollisesti automaation käyttöönotto voi keskittää volyymin ja raskasta liikennettä.	Lisää palveluntarjontaa (uusia liikennepalveluita), toiminnan joustoja ja seurattavuutta.	Ei vaikutusta liikennejärjestelmään.
Infrastruktuuri	Voi vähentää tarvetta liikenneverkon laajentamiseen. Toisaalta autonomiset ajoneuvot voiva vaatia liikenneverkon kehittämistä.	Ei merkittäviä vaikutuksia. Jos toiminnot keskittyvät automaation myötä, mahdollistaa infran kohdentun kehittämisen.	Ei vaikutusta.	Ei nähtävissä merkittävää vaikutusta. Kuitenkin joillakin teknologioilla voi olla vaikutusta infrastruktuurin kehittämiseen.

Seuraavassa on listattu AGV:n hyötyjä:

- **Luotettavuus** – Kun AGV kuljettaa lähetystä on helppo jäljittää “kadonnut” tai väärin ajettu lähetys, sillä AGV:n liikkeitä seurataan jatkuvasti.
- **Käyttökustannuksen ennustettavuus** – AGV:n käyttökustannukset ovat verrattain helppoa ennustaa perinteisiin ratkaisuihin verrattuna.
- **Kiinteistön vahingot** – Törmäyksenestolaite AGV:ssa auttaa vähentämään kiinteistölle aiheutuvia vaurioita.
- **Vähemmän rajoituksia** – AGV pääsee liikkumaan vapaammin tiloissa verrattain liukuhihnoihin ja vaatii vähemmän tilaa, kuin perinteiset vastapainotrukit.
- **Operatiivisten kustannuksien lasku** – Akkujen lataaminen voidaan hoitaa automaattisesti AGV:n toimesta. Kiihdytykset ja jarrutukset voidaan hoitaa hallitusti komponenttien kulumisen vähentämiseksi.
- **Lähetysten vauriot vähentyvät** – AGV:t käsittelevät lähetystyöskä hällästi ja hallitusti ja vähentävät näin lähetysvaurioita.
- **Toistuvat työtehtävät** – AGV:t suorittavat työtehtävät toistuvien liikkein ennalta-arvattavasti ja luotettavasti.
- **Turvallisuus paranee** – AGV:t seuraavat aina niille suunniteltuja reittejä ja pysähtyvät, jos ne kohtaavat esteen, parantaen näin työturvallisuutta.
- **Aikataulutuksen paranee** – Luotettavuuden ja tarkan ohjelmoinnin myötä AGV helpottaa tuotannon aikataulutusta ja tehokkuutta. [24.]

6.2 Haitat

AGV:n haittapuolia ovat:

- **Korkeat alkuinvestoinnit** - Lyhyellä aikavälillä AGV:n kustannukset todennäköisesti ylittävät työntekijäkustannukset merkittävästi ja tämä rajaa ostajakuntaa isompiin toimijoihin.
- **Ylläpitokustannukset** – Muiden laitteiden tavoin AGV:n pitää käydä läpi huollot ja korjaukset määräajoin.
- **Ei sovellu, kuin toistuviin työtehtäviin** – AGV:t on tarkoitettu ohjelmoitavaksi toistuviin työtehtäviin. Mikäli tehtävät ovat muuttuvaluonteisia, soveltuu ihminen työtehtävään paremmin. Esimerkiksi tapaus, jossa työntekijä sairastuu ja hänet täytyisi korvata. AGV:n ohjelmointi perustuu ennalta asennettuihin asetuksiin ja näin ollen äkilliset muutokset ovat haastavia.
- **Kuorman käsittely ja siirto** – AGV ei tunnista lähetysten kokoa eikä painopistettä samalla tavalla kuin ihminen, joka tekee epästabiliien lähetysten siirtämisestä haastavaa. AGV ei myöskään havaitse mahdollisia vaurioita tai puutteita lähetyksissä. [24.]

6.3 Autonomisten trukkien tulevaisuus

Tällä hetkellä logistiikassa on enemmän varastopuolelle soveltuvia automaatio- ja robotiikkaratkaisuja. Suomessa uusinta automaatioteknologiaa on sovellettu pääosin kaupanalan varastoissa ja teollisuuden aloilla. Lyhyellä tähtäimellä logistiikan muut osa-alueet tulevat pysymään ennallaan. Erilaisten liikenteessä liikkuvien ajoneuvojen esimerkiksi laivojen, junien, lentokoneiden ja kuorma-autojen automatisointia ei voida vielä nykYTEknologiaa hyödyntämällä toteuttaa luotettavasti ja turvallisesti. Ennen pitkää automaatio ja robotisaatioasteet nousevat lähelle 100 %, jolloin ihmisen tekemän työn painopiste muuttuu merkittävästi. Mekaaniset ja raskaat työt siirtyvät ihmiseltä koneen tehtäväksi ja ihmisen tekemä työ keskittyy ihmismieltä vaativiin ja suunnittelu-, kehitys- ja valvontatehtäviin. Logistiikassa kriittisten kohtien automatisointi on kilpailukyvyn kannalta erityisen tärkeää. Logistiikassa suurin osa työstä tehdään ihmisen voimin, minkä takia tuotantokustannukset ovat hyvin korkeat. Korkealla automaatioasteella on mahdollista painaa tuotantokustannuksia alaspäin ja saada selkeää etua kilpailijoihin nähden. Voittaja on se, joka uskaltaa automatisoida ensimmäisenä. [25.]

7 Yhteenveto

Opinnäytetyön tutkimustavoite oli tutkia autonomisen trukin hyödyntämistä rahtiterminaalissa. Tutkimuksen perusteella voidaan todeta, että tällä hetkellä AGV:t eivät ole kehittyneet vielä sille tasolle, että niitä voisi hyödyntää tehokkaasti rahtiterminaalissa. Rahtiterminaalien päivittäinen muuttuvuus luo ohjelmointiin liikaa haasteita. Investointikustannukset ovat liian suuret verrattuna saatavaan hyötyyn, eikä tekniikka ole vielä sillä tasolla, että investointeja kannattaisi tehdä. AGV:n täysimääräinen hyödyntäminen vaatisi lisäksi investointeja RFID-tunnisteisiin, jotta autonominen ajoneuvo osaisi navigoida oikean lähetyksen luokse. Nykyisten käytössä olevien viivakooditunnisteiden perusteella ajoneuvo ei pysty tunnistamaan lähetyksen tietoja. Tunnisteiden vaihtaminen nykyisistä viivakooditunnisteista RFID-tunnisteisiin lisäisi investointikustannuksia entisestään.

Mielestäni työssä päästiin asetettuun tavoitteeseen ja jatkotutkimusaiheena voisi olla AGV:n osahyödyntäminen ihmisen rinnalla.

Lähteet

- 1 MHI - Automatic Guided Vehicles. Verkkoaineisto. 2020. MHI. <http://www.mhi.org/fundamentals/automatic-guided-vehicles>. Luettu 14.4.2020.
- 2 Conveyco - The Advantages and Disadvantages of Automated Guided Vehicles (AGVs). 2020. Verkkoaineisto. Conveyco. <<https://www.conveyco.com/advantages-disadvantages-automated-guided-vehicles-agvs/>>. Luettu 16.4.2020.
- 3 Bimbraw, Keshav. 2015. Autonomous Cars: Past, Present and Future – A Review of the Developments in the Last Century, the Present Scenario and the Expected Future of Autonomous Vehicle Technology. Verkkoaineisto. Researchgate. <https://www.researchgate.net/publication/283757446_Autonomous_Cars_Past_Present_and_Future_-_A_Review_of_the_Developments_in_the_Last_Century_the_Present_Scenario_and_the_Expected_Future_of_Autonomous_Vehicle_Technology>. Luettu 27.4.2020.
- 4 Defense Advanced Research Projects Agency News And Events - The DARPA Grand Challenge: Ten Years Later. 2014. Verkkoaineisto. Darpa. <<https://www.darpa.mil/news-events/2014-03-13>>. Luettu 27.4.2020.
- 5 Roclan automaattitrukit ovat puurtaneet tauotta jo 30 vuoden ajan. 2013. Verkkoaineisto. Rocla Oyj. <<http://www.rocla.com/fi/lehdisto/uutiset/roclan-automattitrukit-ovat-puurtaneet-tauotta-jo-30-vuoden-ajan>>. Luettu 1.5.2020.
- 6 Autonomisen trukin ensimmäisiä tuotantoversioita. 2015. Verkkoaineisto. <https://media.springernature.com/lw785/springer-static/image/chp%3A10.1007%2F978-3-662-44814-4_1/MediaObjects/290934_1_En_1_Fig2_HTML.jpg>. Luettu 1.5.2020.
- 7 SAE International - Surface Vehicle Recommended Practice J3016. 2014 Verkkoaineisto. Saemobilus. <https://saemobilus.sae.org/download/?saetkn=7Ab97uLiFw&method=downloadDocument&contentType=pdf&prodCode=J3016_201806&cid=1000408663>. Luettu 8.5.2020.
- 8 AGV network - automated-guided-vehicles-safety-systems. 2020. Verkkoaineisto. AGV network. <<https://www.agvnetwork.com/automated-guided-vehicles-safety-systems>>. Luettu 1.5.2020.
- 9 Lavansiirtovaunu ja vastapainotrukki. 2020. Verkkoaineisto. Yale. <<https://www.yale.com/emea/en-gb/our-products/product-overview/pallet-trucks/MP20XUX/>>. Luettu 1.5.2020.
- 10 Riskienarviointiprosessi. Verkkoaineisto. 2020. TTK. <https://ttk.fi/files/4481/450/ttk_kaavio_riskienarviointi.jpg>. Luettu 28.4.2020.
- 11 AGV-ajoneuvon laserskannerin turvaetäisyys. 2020. Verkkoaineisto. <<https://i.ytimg.com/vi/Rw7D5trwza8/maxresdefault.jpg>>. Luettu 1.5.2020.
- 12 AGV-ajoneuvon turvalaserit ylä- ja alaosassa. 2020. Verkkoaineisto. <<https://i.ytimg.com/vi/QnllmWOYsdo/maxresdefault.jpg>>. Luettu 1.5.2020.

- 13 MD Sarder and Matthew Haschak Department of Engineering Technologies Information Technology Services Bowling Green State University - Cyber Security and Its Implication on Material Handling and Logistics. 2019. Verkkoaineisto. <<https://www.mhi.org/downloads/industrygroups/solutions-community/white-papers/cyber-security.pdf>>. Luettu 15.5.2020.
- 14 Nykänen, Ville. 2019. 5G:n hyödyntäminen esineiden internetissä. Tietotekniikan kandidaatintutkielma. Verkkoaineisto <<https://jyx.jyu.fi/bitstream/handle/123456789/66746/1/URN%3ANBN%3Afi%3Aju-201912115211.pdf>>. Luettu 16.5.2020.
- 15 AGV Blog - Comparison of 11 different types of AGV navigation methods. 2019. Verkkoaineisto. <<http://www.agvblog.com/514.html>>. Luettu 18.4.2020.
- 16 Roboteq - Building a Magnetic Track Guided AGV. 2020. Verkkoaineisto. Roboteq. <<https://www.roboteq.com/applications/all-blogs/18-building-a-magnetic-track-guided-agv>>. Luettu 3.5.2020.
- 17 Sick – Automated Guided Vehicle Laser Navigation with Reflectors. 2020. Verkkoaineisto. Sick. <<https://www.sick.com/ag/en/automated-guided-vehicle-laser-navigation-with-reflectors/c/p170640>>. Luettu 3.5.2020.
- 18 Logistiikan maailma verkkojulkaisu. 2020. Verkkoaineisto. Rocla Oyj. <<http://www.logistiikanmaailma.fi/huolinta-terminaalit/logistiikkakeskus/termit/>>. Luettu 9.5.2020.
- 19 Logistiikan maailma. 2020. Verkkoaineisto. <<http://www.logistiikanmaailma.fi/logistiikka/digitalisaatio/sahkoinen-toimitusketju/>>. Luettu 9.5.2020.
- 20 Passiivinen RFID-tunniste. 2020. Verkkoaineisto. <<https://www.indiamart.com/proddetail/rfid-uhf-passive-tags-8877587262.html>>. Luettu 13.5.2020.
- 21 Rinta-Runsala, Esa, Tallgren, Markus. RFID-tekniikan hyödyntäminen asiakkaidenhallinnassa. 2004. Verkkoaineisto. VTT. <<https://www.vttresearch.com/sites/default/files/julkaisut/muut/2004/rfid-raportti.pdf>>. Luettu 10.5.2020
- 22 Kustannusvertailu AGV:n ja perinteisen trukin välillä. 2020. Verkkoaineisto. Invade Group. <<https://www.indevagroup.com/automatic-guided-vehicles/>>. Luettu 1.5.2020.
- 23 Pöyskö, T, Hurskainen, E., Lapp, T., Vaarala, H. Automaatio ja digitalisaatio logistiikassa, kehitysnäkymiä Suomessa ja maailmalla. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä. 2016. Kirjallisuus. Luettu 1.5.2020.
- 24 Benevides, Chris. The Advantages and Disadvantages of Automated Guided Vehicles (AGVs). 2020. Verkkoaineisto. Conveyco. <<https://www.conveyco.com/advantages-disadvantages-automated-guided-vehicles-agvs/>>. Luettu 10.5.2020.
- 25 Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminta. Robotisaation ja automatisaation vaikutukset Suomen kansantalouteen 2030. 2018. Verkkoaineisto. Valtioneuvosto. <http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161102/47-2018-ROBOFINN_raportti_.pdf>. Luettu 13.5.2020.

Taulukko 2. AGV:n tietoturvan riskien kartoitus ja hallinta taulukko [12, s. 8–10.]

Tunnistaminen	
OmaisuuDET	<ul style="list-style-type: none"> Fyysinen inventaario kaikista AGV-ajoneuvoista tulisi olla dokumentoitu ja kirjanpidon pitäisi olla kunnossa Luettelo kaikista AGV:n ylläpitämiseen käytettävistä ohjelmistoista ja järjestelmistä tulisi olla kunnossa Tietojen kartoitus ja järjestelmävirrat AGV:n kanssa kommunikoidessa Kaikki ihmiset, jotka ovat mukana laitteiston tai järjestelmän hankinnassa tulisi listata ja dokumentoida
Liiketoimintaympäristö	<ul style="list-style-type: none"> Kuinka tärkeää on AGV:n toiminta organisaatiolle
Hallintotapa	<ul style="list-style-type: none"> Organisaation politiikka AGV:n suojaamiseksi AGV:n turvallisuutta koskevat vaatimukset ja lait AGV:n säännöllinen riskienhallintaohjelma
Riskienkartoitus	<ul style="list-style-type: none"> Tunnetut haavoittuvaisuudet kaikissa järjestelmissä tulee selvittää Kaikki organisaatiot, jotka osallistuvat tiedon jakamiseen tulisi määritellä Liiketoimintaan liittyvien vaikutusten arviointi AGV:n saatavuudesta Riskien priorisointi
Riskienhallinta	<ul style="list-style-type: none"> Luo riskienhallintaprosessi ja sopimukset sidosryhmien kanssa Aseta organisaation riskitoleranssit AGV:n suhteen
Toimitusketjun riskienhallinta	<ul style="list-style-type: none"> Ota käyttöön riskienhallintatoimenpiteet koskien kolmansia osapuolia

Suojaus	
Tunnistaminen, todentaminen ja kulunvalvonta	<ul style="list-style-type: none"> • Kuinka hallita tilejä käyttäjillä, joilla on pääsy AGV-järjestelmän ylläpitoon, kokoonpanoon ja IT-toimintaan • Rajoita fyysistä pääsyä järjestelmiin • Rajoita ja valvo järjestelmän etäkäyttöä • Rajoita pääsy tiettyihin avainhenkilöihin ja jaa tehtävät osiin • Asenna segmentoitu verkko kriittisyyden perusteella AGV:lle erotettuna muusta organisaation LANista • Asenna hallintatavat varmistaaksesi, että pääsy on määritelty roolien mukaan • Todenna AGV-järjestelmän käyttäjät kunnolla salasanoilla
Tietoisuus ja koulutus	<ul style="list-style-type: none"> • Kouluta kaikki AGV-järjestelmän käyttäjät ymmärtämään heidän vastuitaan • Kouluta myös kolmannet osapuolet • Varmistakaa, että johtajat tietävät myös heidän roolit ja vastuut • Kouluta kyber ja fyysisestä turvallisuudesta vastaavat henkilöt heidän rooleihinsa ja vastuuhinsa
Tietoturva	<ul style="list-style-type: none"> • AGV:n koko käyttöiän aikainen tieto tulisi dokumentoida ja suojata. AGV:sta luovuttaessa tulisi sen kovalevyt tyhjentää kaikesta tiedosta • AGV:n tietojen varmuuskopiointi
Tietosuojaprosessit ja menettelyt	<ul style="list-style-type: none"> • AGV-järjestelmien peruskonfiguraatio ylläpidetään ja varmistetaan • Kaikkien AGV-järjestelmien järjestelmäkehityksen elinkaari (SDLC) • Vaihda muutoksien hallinta AGV-järjestelmiin • Kunnollinen varmuuskopiointi AGV-järjestelmistä eheyden tarkistamisella ja testaamisella • Toimintatapojen määrittely • Tietojen säilytys ja tuhoaminen oikean säilytysaikataulun perusteella • Mittarien luominen suojauksen tehokkuuden mittaamiseen • Hallintasuunnittelun tekeminen haavoittuvuuksien varalta
Ylläpito	<ul style="list-style-type: none"> • Ylläpitoaikataulu AGV-järjestelmälle • Etänä suoritettavien huoltotöiden valvonta ja hallinta
Suojateknologia	<ul style="list-style-type: none"> • Tarkastuslokien luominen, ylläpito ja tarkistaminen • Kaikki etämedia AGV:ssa on rajoitettua

Vastaaminen	
Vastauksen suunnittelu	<ul style="list-style-type: none"> • Varmista, että vastaussuunnitelma on sovittujen käytäntöjen mukainen
Kommunikaatio	<ul style="list-style-type: none"> • Vastaussuunnitelmaan kuuluvien jäsenien tulee tietää roolinsa ja vastuunsa • Kunnollinen raportointi tapahtumista AGV-ympäristössä
Analyysi	<ul style="list-style-type: none"> • Jokainen vastaus huomautuksiin tulee tutkia • Vaikutukset AGV:in tulee ymmärtää • Oikeusopillinen tutkimus tulee suorittaa tarvittaessa • Tapahtumien oikea luokittelu • Luokkien ja vaikutusten perusteella perustetut prosessit
Lieventäminen	<ul style="list-style-type: none"> • Tapahtuminen hillitseminen ja lieventäminen • Uusimpien dokumenttien perusteella kehitetyt suunnitelmat
Parannukset	<ul style="list-style-type: none"> • Opitut asiat tapahtumista • Vastaussuunnitelman päivittäminen
Ylläpito	<ul style="list-style-type: none"> • Ylläpitoaikataulu AGV-järjestelmälle • Etänä suoritettavien huoltotöiden valvonta ja hallinta

Havaitseminen	
Poikkeavuudet ja tapahtumat	<ul style="list-style-type: none"> • Luo normaalin AGV-käyttäytymisen perustasot • Tunnista, kuinka havaita epänormaali käyttäytyminen • Korreloi käyttäytyminen muiden laitteiden kanssa • Ymmärrä erilaisten käyttäytymisien vaikutukset • Ymmärrä hälytysrajat ja väärät positiivisuudet
Turvallisuuden jatkuva valvonta	<ul style="list-style-type: none"> • Tarkkaile kaikkia AGV-ympäristön komponentteja <ul style="list-style-type: none"> • Fyysistä • Käyttöjärjestelmää • Ohjelmistoa • Verkkoa • Henkilöstöä • Suorita haavoittuvuustarkastukset AGV-ympäristössä
Havainnointiprosessi	<ul style="list-style-type: none"> • Perustetaan havaitsemisesta vastuussa olevien roolit vastuullisuuden varmistamiseksi • Varmistetaan prosessien testaaminen ja parantaminen • Kommunikointi

Palautuminen	
Palautumissuunnitelma	<ul style="list-style-type: none"> • Varmista palautumissuunnitelma AGV-järjestelmään kohdistuneiden tapahtumien jälkeen
Parannukset	<ul style="list-style-type: none"> • Sisällytä opitut asiat tapahtumista • Päivitä palautusstrategiat
Kommunikaatio	<ul style="list-style-type: none"> • Hallitse viestintää, mukaan lukien julkiset viestit tarvittaessa • Hallitse mainetta • Varmista, että kaikki asiaankuuluvat osapuolet ovat ajan tasalla tapahtumista AGV-järjestelmässä