

samk



Satakunnan ammattikorkeakoulu
Satakunta University of Applied Sciences

TUOMAS LAAKSONEN

Sisätilapaikannusratkaisuselvitys

Vahterus Oy:n Valintien toimipiste

SÄHKÖ- JA AUTOMAATIOTEKNIIKAN
TUTKINTO-OHJELMA
2025

TIIVISTELMÄ

Laaksonen, Tuomas: Sisätilapaikannusratkaisuselitys: Vahterus Oy:n Valintien toimipiste
Opinnäytetyö, AMK
Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma
Toukokuu 2025
Sivumäärä: 64

Työn tavoitteena oli selvittää mitä erilaisia vaihtoehtoja Vahterus Oy:n Valintien toimipisteellä olisi valmistettavien levylämmönsiirtimien paikannukselle tuotantohallista.

Työn tulos toimii alustavana selvityksenä yrityksen jatkuvan parantamisen aloitejärjestelmään kirjattuun aloitteeseen, jossa oli ehdotettu paikannusjärjestelmän kokeilemista valmistettaviin tuotteisiin. Tavoitteena säästää aikaa joka toimistohenkilöstöltä kuluu yksittäisen lämmönsiirtimen löytämiseen tuotantohallista.

Työhön ei sisällynyt ratkaisujen yksityiskohtaista teknistä suunnittelua tai toteutusta.

Ratkaisujen soveltuvuutta ympäristöön tarkasteltiin laitetoimittajilta saatavilla olleiden tietojen pohjalta ja paikannusta lähestyttiin useammasta eri näkökulmasta sekä ratkaisuja vertailtiin myös keskenään. Työn aikana laitetoimittajien kanssa pidettiin etätapaamisia ja kartoitettiin myös sitä kautta mahdollisia ympäristöön soveltuvia ratkaisuja.

Käsitellyt paikannusratkaisut piti rajata niiden laajuuden vuoksi sisältämään vain tärkeimmät asiat.

Työn tuloksena syntyi katsaus erilaisiin ratkaisuihin ja miten niitä voitaisiin hyödyntää yrityksen tuotteiden paikannuksessa tuotantohallin sisällä.

Avainsanat: paikannus, sisätilapaikannus, seuranta, tunnisteet, RFID, RTLS

ABSTRACT

Laaksonen, Tuomas: Indoor positioning solution report: Vahterus Oy's Valintie factory

Bachelor's thesis

Degree programme in Electrical and Automation Engineering

May 2025

Number of pages: 64

The aim of the work was to find out what different alternatives Vahterus Oy's Valintie factory would have for locating the heat exchangers to be manufactured in the production hall.

The result of the work serves as a preliminary study for an initiative in the company's continuous improvement initiative system, in which it was proposed to test a positioning system for the products manufactured. The aim is to save time spent by office staff in finding a single heat exchanger on the production floor.

The work did not include detailed technical design or implementation of the solutions.

The suitability of the solutions for the environment was examined based on information available from the equipment suppliers and the positioning was approached from several different angles. Solutions were also compared with each other. During the work, remote meetings were also held with the equipment suppliers to identify possible solutions suitable for the environment.

Due to their scope, the positioning solutions discussed had to be limited to the most important issues.

The work resulted in an overview of the different solutions and how they could be used to locate the company's products in the production hall.

Keywords: positioning, indoor positioning, tracking, identifiers, RFID, RTLS

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	6
2 TOIMEKSIANTAJA	7
3 VALMISTETTAVA TUOTE.....	8
3.1 Yksilöinti ja tunnistus	11
3.1.1 Pistemerkintä	13
3.2 Varastointi	15
4 VALMISTUKSEN VAIHEET JA HAASTEET	17
4.1 Hitsaus	17
4.2 Rikkomaton aineenkoetus	18
4.3 Radiografinen tarkastus.....	18
4.3.1 Säteilyn vaikutukset sähkölaitteisiin.....	19
4.4 Koeponnistus.....	19
4.5 Peittäus	20
4.6 Pintakäsittely	21
4.7 Kuivaus.....	22
5 SISÄTILAPAIKANNUS	23
5.1 GNSS ja GPS	23
6 RATKAISUVAIHTOEHDOT	25
6.1 Manuaalisesti ylläpidettävä sijaintitieto	25
6.1.1 Sijaintitietosarake toiminnanohjausjärjestelmään	28
6.1.2 Räätelöity sovellus sijaintitiedon tallentamiseen	30
6.1.3 Yhteenveto	30
6.2 Reaaliaikainen paikannusjärjestelmä	31
6.2.1 Reaaliaikainen paikannusjärjestelmä ja sen hyödyt.....	31
6.2.2 Quuppa RTLS.....	34
6.2.3 Ohjelmisto.....	35
6.2.4 Lokaattorit.....	36
6.2.5 Tunnisteet.....	39
6.2.6 Yhteenveto	41
6.3 RFID-tekniologiaan pohjautuva sijaintitieto	42
6.3.1 Tunnisteet.....	43
6.3.2 Lukijalaitteet ja antennit	44
6.3.3 Ohjelmistot ja liittynät.....	48
6.3.4 RFID-tulostin ja tarraohjelmisto.....	50
6.3.5 Yhteenveto	52

7 RATKAISUJEN VERTAILU.....	53
7.1 Soveltuvuus ympäristöön ja toimintavarmuus	53
7.2 Käyttöönottokustannukset ja ylläpito	54
7.3 Vaikutus työntekoon, ajankäyttöön ja tuotannonhallintaan	55
7.4 Skaalautuvuus.....	56
7.5 Helppokäyttöisyys	57
7.6 Liitettävyys muihin järjestelmiin	58
8 RATKAISUEHDOTUS	59
9 YHTEENVETO.....	60
LÄHTEET.....	61

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää ja vertailla, mitä erilaisia vaihtoehtoja valmistettavien tuotteiden eli hitsattujen levylämmönsiirtimien paikannukselle olisi Vahterus Oy:n Valintien toimipisteellä. Haasteena on ympäristön konepajamainen luonne ja valmistusprosessi, jossa jokainen tuote valmistetaan tilauksesta ja ne voivat olla erilaisia edelliseen nähden.

Vaikka valmistusprosessi on jokaiselle lämmönsiirtimelle samankaltainen, voidaan osa työvaiheista suorittaa useammassa eri sijainnissa, jolloin siirtimet saattavat kulkea eri reittejä pitkin seuraaviin työvaiheisiin tai palata takaisin, jos esimerkiksi laadunvalvonnassa havaitaan poikkeamia.

Opinnäytetyön aihe tuli työpaikalla tehdystä jatkuvan parantamisen aloitteesta, jossa toivottiin paikannusjärjestelmää lämmönsiirtimille, jolla helpottaa yksittäisen siirtimen löytämistä tuotantotiloista. Lämmönsiirtimet saattavat olla ulkoisesti hyvinkin samanlaisia mutta jokainen niistä on kuitenkin oma yksilönsä, jolloin jonkin tietyn siirtimen löytämiseen tuotantotiloista saattaa kulua turhan paljon aikaa esimerkiksi asiakastapaamista varten.

Yrityksen tuotanto lisääntyy koko ajan kasvavaa vauhtia ja Valintien toimipisteelle on valmistumassa vuoden 2025 aikana 5000m² edestä lisää tuotantotilaa olemassa olevan noin 19 000m² lisäksi, jolloin yksittäisen lämmönsiirtimen löytäminen hankaloituu entisestään.

2 TOIMEKSIANTAJA

Vahterus on vuonna 1990 perustettu suomalainen perheyritys, joka valmistaa hitsattuja levylämmönsiirtimiä. Yrityksen juuret johtavat Vakka-Suomen Kalannissa sijaitsevaan Vahteruksen kylään, jossa sijaitsi yrityksen ensimmäiset toimitilat yrityksen perustajan Mauri Konnun kotitilan navetassa. (Vahterus Oy, n.d.-a.)

Nykyisin Vahteruksen pääkonttori sijaitsee Kalannin vanhan osuusmeijerin tiloissa Pruukintiellä, jossa myös valmistetaan lämmönsiirtimien sisälle asennettava levypakka. Kalannin Valintien toimipisteellä tapahtuu lämmönsiirtimen ulkokuoren eli vaipparakenteen valmistus ja levypakan asennus siirtimen sisälle. Toimipisteeltä lähetetään myös Suomessa valmistetut valmiit siirtimet maailmalle.

Valintien vieressä Teollisuustien varrella sijaitsee myös tuotantoa tukevina toimintoina erikseen sorvaamo, ruostumattoman teräksen vaipanvalmistus, tuotekehityslaboratorio ja sisäisen logistiikan keskusvarasto. Kalannin toimintojen lisäksi Vahteruksella on myyntitoimistoja ympäri maailmaa sekä tehdas Kiinassa.

Suurin osa lämmönsiirtimistä valmistetaan vientiin ja niitä käytetään yli 50 maassa erilaisissa energia-, prosessi- ja kemianteollisuuden sekä kylmätekniikan sovelluksissa. Vahterus on panostanut paljon tuotekehitykseen ja on hitsatun levylämmönsiirinteknologian kehittäjä, markkinajohtaja sekä edelläkävijä automatisoidun tuotannon ja vahvan sovellusosaamisen ansiosta. Yritys työllisti vuonna 2024 noin 600 henkilöä maailmanlaajuisesti. (Vahterus Oy, n.d.-a.)

3 VALMISTETTAVA TUOTE

Yrityksen valmistamat levylämmönsiirtimet koostuvat yksinkertaisimmillaan yhteen hitsatuista levyistä, jotka muodostavat siirtimen sisälle asennettavan levypakan ja sylinterinmuotoisesta ulkokuoresta, jota kutsutaan myöhemmin myös vaipaksi. Lämmönsiirtimen putkiyhteiden kautta primääri- ja sekundääripuolien fluidit virtaavat sisään ja ulos.

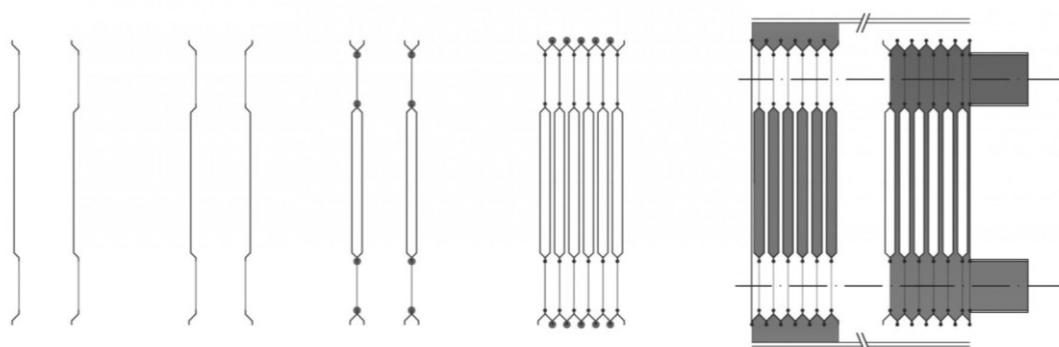
Lämmönsiirtimet voivat olla pieniä tai suuria ja niiden koko vaihtelee asiakkaiden sovelluksista johtuvista vaatimuksista. Myös muut erilaiset ominaisuudet kuten väri ja putkiyhteiden paikat riippuvat asiakkaan vaatimuksista. Siirtimien painot vaihtelevat sadoista kilogrammoista tuhansiin. Kuvassa 1 näkyy yksi suurimmista Vahteruksen valmistamista siirtimistä.



Kuva 1. Vahteruksen valmistama suuri levylämmönsiirrin (Vahterus Oy, n.d.-e).

Levylämmönsiirtimen sisälle tuleva levypakka muodostuu levypareista, jotka muodostuvat kahdesta kuviollisesta levystä, joissa on kaksi reikää. Levyparissa toinen levyistä on käännetty 180 astetta toiseen levyyn nähden ja levyjen reikien kohdalla olevat saumat hitsataan kiinni toisiinsa.

Levyparit, joiden sisemmät saumat on hitsattu, ladotaan vierekkäin siten että muodostuu halutun pituinen ulkokehältä hitsaamaton levypakka. Tämän jälkeen levyparien väliset ulommat hitsaamattomat saumat hitsataan myös kiinni, jolloin muodostuu valmis hitsattu levypakka mikä erottaa lämmönsiirtimen läpi kulkevat virtaukset toisistaan. Kuvassa 2 on esitetty miten yksittäiset levyt muodostavat ensin levyparin ja sen jälkeen levypakan.



Kuva 2. Levylämmönsiirtimen levypakan rakenne (Vahterus Oy, n.d.-c).

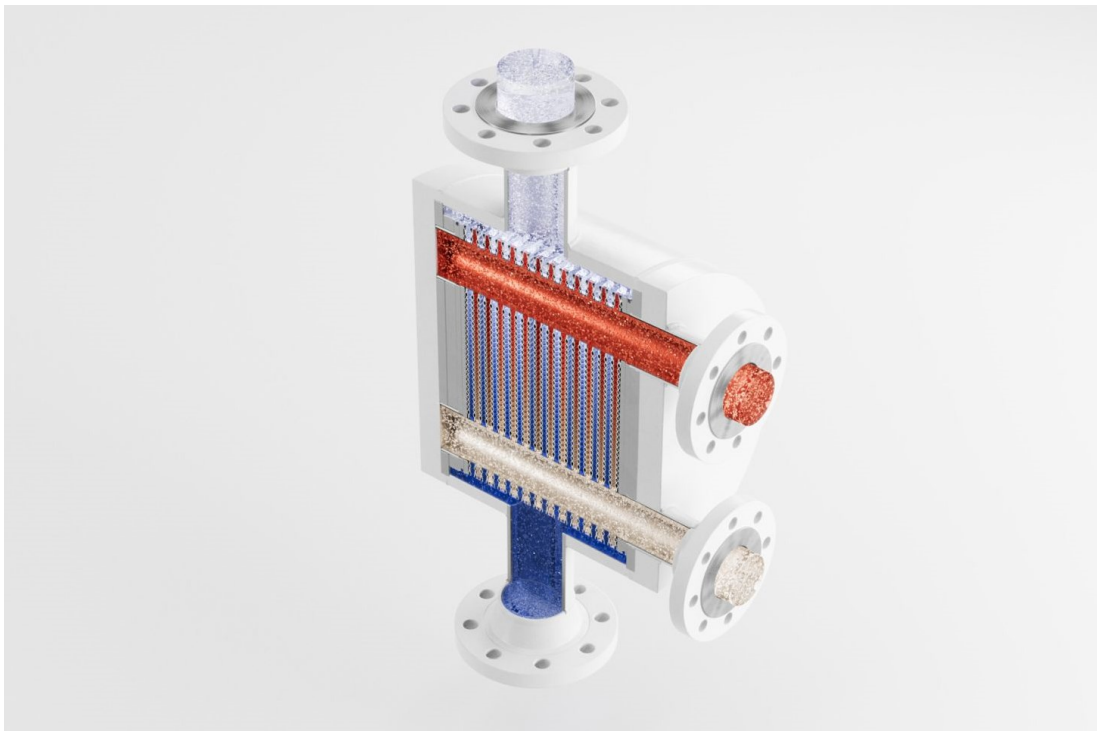
Kuvassa 3 on esitetty räjäytyskuva valmiista lämmönsiirtimestä, jossa nähdään myös, miten levypakka asettuu siirtimen sisälle.



Kuva 3. Levylämmönsiirtimen räjäytyskuva (Vahterus Oy, n.d.-b).

Levylämmönsiirtimen toimintaperiaatteena on siirtää lämpöä primääripuolelta sekundääripuolelle johtamalla siirtimen sisällä olevan levypakan kautta, joka erottaa virtaukset toisistaan. Vahteruksen siirtimet ovat täysin hitsattuja, jolloin ei ole tarpeellista käyttää tiivisteitä mikä tekee rakenteesta pitkäkestoisemman. (Vahterus Oy, n.d.-c.)

Lämmönsiirtimillä voidaan esimerkiksi lämmittää tai jäähdyttää erilaisissa prosesseissa kulkevia nesteitä ja kaasuja. Kuvassa 4 on visualisoitu vaippa- ja levypakkapuolen virtauksien reitit lämmönsiirtimen sisällä.



Kuva 4. Levylämmönsiirtimen vaippa- ja levypakkapuolen virtaukset visualisoituna (Vahterus Oy, n.d.-d).

3.1 Yksilöinti ja tunnistus

Pelkästään silmänmääräisesti jotakin tiettyä yksittäistä siirrintä saattaa olla hankala erottaa muiden joukosta varsinkin, jos alueella on saman kokoluokan siirtimiä enemmänkin. Jokainen siirrin yksilöidään siirrinnumerolla ja sen lisäksi muista siirtimistä erottavia ominaisuuksia voivat olla asiat kuten fyysinen koko, mahdollisen jalustan korkeus ja maalauksen jälkeinen väritys.

Valmistusprosessin alussa levyvarastosta otetaan levy, josta leikataan pala siirtimen vaippaa varten. Levyyn merkitään ensin pelkällä öljytussilla siirrinnumero, joka on ensimmäinen merkintä, jolla saadaan eroteltua valmistettava siirrin muista. Myöhemmin siirrinnumero ja muut tarvittavat rivit merkitään pysyvästi metallipintaan pistemerkintälaitteella.

Levynleikkaamisen jälkeen seuraava vaihe on levyn mankelointi siirtimen vaipan muotoon. Kun levystä on saatu sylinterinmuotoinen, siirtyy se jauhekaarihitsauskoneelle, jossa pituussuuntainen sauma hitsataan kiinni. Pituussauaman hitsaamisen jälkeen vaippa siirtyy rei'ityspaikalle.

Vaipan pintaan on voitu merkitä siirrinnumero tussilla uudelleen myös myöhemmin, jos alkuperäinen tussimerkintä on poistettu tai kulunut pois. Tussimerkinnällä voidaan helpottaa silmänmääräistä tunnistamista. Pintakäsittelyn jälkeen ei tussimerkintöjä kuitenkaan enää löydy pinnasta. Jokaiseen siirtimeen kiinnitetään myös tyyppikilpi, mutta kilven kiinnitys tapahtuu vasta valmistusprosessin loppupuolella, hieman ennen kuin valmis lämmönsiirrin pakataan puulaatikon sisälle kuljetusta varten.

Tussi- ja pistemerkinnän lisäksi siirtimen mukana kulkee koko valmistusprosessin ajan dokumentteja kuten osaluettelot, hitsauskartat ja valmistuksen aikaisiin testauksiin ja mittauksiin liittyvät paperit. Dokumentit on laitettu muovitaskun sisään ja yleensä löytyvät joko siirtimen päältä, putkiyhteen sisälle työnnettynä tai työpöydältä siirtimen ollessa työpisteellä. Kuvassa 5 näkyy dokumenttinippu työnnettynä lämmönsiirtimen putkiyhteeseen, jossa se pysyy tallessa, kunnes sitä seuraavan kerran tarvitaan.



Kuva 5. Dokumentit säilytyksessä siirtimen putkiyhteessä.

Koska jokainen lämmönsiirrin valmistetaan tilauksesta, annetaan jokaiselle niistä myös oma yksilöivä siirrinnumero. Siirrinnumeron lisäksi siirtimet jaotellaan kolmeen tilausryhmään, jotka ovat P, V ja S-tilaus. Useampi siirrin voi kuulua jokaiseen tilaustyyppiin.

P-tilauksella tarkoitetaan projektimuotoista tilausta, jossa on asiakaskommunikaatiota valmistuksen aikana ja siihen on aina nimetty projektipäällikkö. V-tilaus on vakio tilaus, jossa ei ole projektipäällikköä. Vakio tilauksia varten voidaan myös tehdä uudet piirustukset siirtimelle tai käyttää olemassa olevia vaikiokuvia. S-tilaus liittyy toimituksen jälkeisiin toimenpiteisiin kuten takuutyöt, huolto tai varaosien myynti.

3.1.1 Pistemerkintä

Vaipanvalmistuksen alueella vaipan rei'ittäjä leikkaa putkiyhteiden reiät vaipan plasmaleikkurilla ja tekee pistemerkintälaitteella merkinnän vaipan pintaan. Merkinnästä käy selväksi siirtimen valmistusvuosi, siirrinnumero, käytetty materiaali, materiaalin sulatusnumero ja merkinnän tehneen henkilön nimikirjaimet.

Valmiissa siirtimessä pistemerkinnän havaittiin löytyvän yleensä tyyppikilven puoleiselta puolelta vaipan vasemmasta ylänurkasta, mutta paikka saattoi kuitenkin vaihdella riippuen mihin kohtaan siirtimen suunnittelija oli merkinnyt leiman tulevan. Tämän takia optisten järjestelmien käyttäminen apuna siirtimien tunnistamiseen ei todennäköisesti ole järkevästi toteutettavissa.

Pistemerkintä tehdään akkukäyttöisellä kädessä pidettävällä pistemerkintälaitteella. Laitteella voidaan merkitä numeroita, tekstiä, logoja ja Data Matrix -koodoja.

Data Matrix -koodit ovat kaksiulotteisia ja ne koostuvat pisteistä tai neliöistä muodostaen neliön tai suorakaiteen muotoisen symbolin. Koodi on pienikokoinen, joten se soveltuu hyvin paikkoihin, jossa on rajallisesti tilaa. (GS1 Finland, n.d.)

Kuvassa 6 näkyy rei'ityspaikalla käytössä oleva akkukäyttöinen merkintälaitte.



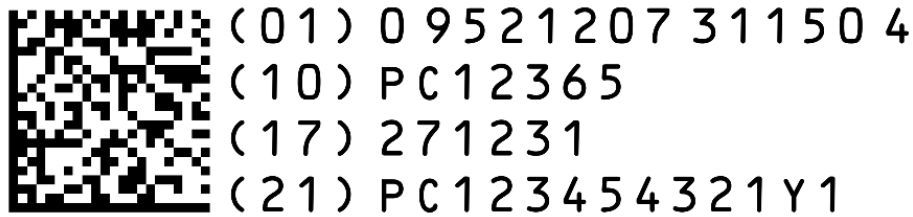
Kuva 6. Akkutoiminen pistemerkintälaitte SIC Marking E-MARK.

Kuvassa 7 näkyy miltä laitteella tehty merkintä näyttää ja miten se erottuu ruostumattoman teräksen pinnalta. Merkinnän alue on kiillotettu ennen merkinnän tekemistä, jotta pinta on puhdas ja merkintä erottuu paremmin.



Kuva 7. Pistemerkintälaitteella tehty merkintä lämmönsiirtimeen vaipassa

Vaipan rei'ittäjän tekemän merkinnän tiedot voitaisiin myös sisällyttää yhteen Data Matrix -koodiin, tai vaihtoehtoisesti koodi voitaisiin lisätä rivien viereen, jolloin merkintä voisi näyttää kuvan 8 mukaiselta.



Kuva 8. Esimerkki Data Matrix -koodista (GS1, n.d.)

Esimerkkikuvan koodi sisältää neljä sovellustunnusta ja tietosisältö on GS1-standardin mukaisessa muodossa. Koodiin on kirjattu GTIN-numero, eränumero, viimeinen käyttöpäivä ja sarjanumero.

3.2 Varastointi

Tuotantohallissa on käytävien varrella eri paikoissa välivarastointialueita, joissa keskeneräisiä siirtimiä varastoidaan, kunnes ne haetaan seuraavalle työpisteelle. Pääsääntöisesti niitä säilytettiin lattialla, mutta osa vaipoista oli ripustettu ulokehyllyihin. Ruostumattomasta teräksestä valmistettuja siirtimien vaippoja löytyi myös pihan puolelta trukkihyllyistä.

Esimerkiksi valmistusprosessin alussa, kun metallilevystä mankeloidaan siirtimen vaipaksi kutsuttu kuori, säilytetään sitä mankelien läheisyydessä, kunnes se haetaan seuraavalle työpisteelle. Tuotantotilanne sekä muut muuttujat kuten laiterikot voivat vaikuttaa siihen kuinka paljon siirtimiä kertyy alueille. Loppuhitsauksen alueella varsinkin pienempiä siirtimiä löytyi monia myös hitsauskoppien välittömästä läheisyydestä kuten kuvassa 9 näkyy.



Kuva 9. Loppuhitsauksen käytävällä olevia pieniä hiiliteräksestä valmistettuja siirtimiä.

4 VALMISTUKSEN VAIHEET JA HAASTEET

Ennen paikannusratkaisujen pohtimista tulee tarkastella valmistusprosessia ja sen eri vaiheita tarkemmin, jotta voidaan havaita mahdolliset ongelmakohdat, jotka tulisi ottaa huomioon ratkaisuissa. Seuraavaksi on käsitelty keskeisimmät työvaiheet, jotka liittyvät hitsatun levylämmönsiirtimen valmistukseen ja mitä haasteita tai ongelmia ne voivat aiheuttaa paikannuksen näkökulmasta.

4.1 Hitsaus

Suurin osa lämmönsiirtimen valmistuksesta ja vaiheista liittyy hitsaamiseen. Siirtimiä valmistetaan sekä hiiliteräksestä että ruostumattomasta teräksestä. Hitsaaminen tapahtuu pääosin hitsauskopeissa, joissa on vakiovarustelu tarvikkeita, työkaluja ja koneita töiden suorittamiseen.

Siirtimen vaippaan liitetään hitsaamalla siirtimen päädyt, putkiyhteet, jalat ja tyyppikilven teline ja mahdollisesti muita asioita kuten nostokorvia. Päätyjen ja siirtimen pituussuuntaisen sauman hitsaus tapahtuu jauhekaarihitsauskoneella. Jauhekaarihitsauksessa hitsaussauman alueelle johtuu huomattavasti lämpöä sekä kuumaa kuona-ainesta irtoaa valmiin sauman päältä.

Paikannusjärjestelmän näkökulmasta tulee varautua ja huomioida ongelmat, jotka johtuvat lämmöstä, työn aikana tapahtuvista kappaleiden käännöistä ja ulkoisten tekijöiden aiheuttamista mekaanisista voimista työstettävän kappaleen pintaan kuten hiominen kulmahiomakoneella.

4.2 Rikkomaton aineenkoetus

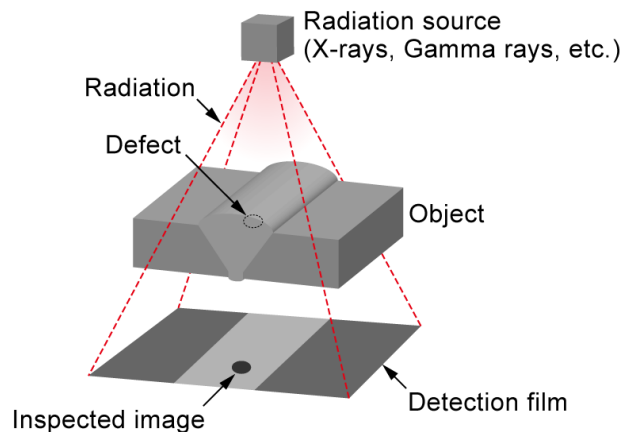
Siirtimille tehdään pitkin valmistusprosessia erilaisia rikkomattomia aineenkoetuksia.

Rikkomatonta aineenkoetusta käytetään apuna, kun halutaan varmistua materiaalien eheydestä. Hitsausaumojen laatu voidaan tarkistaa röntgenkuvauksen tai ultraäänitarkastuksen avulla. (Kiwa, n.d.)

Tärkeimmät tarkasteltavat aineenkoetusmenetelmät paikannusjärjestelmän näkökulmasta ovat kuvaukset, joissa käytetään joko röntgen- tai gammasäteilyä. Koska paikannukseen liittyy lähes poikkeuksetta sähkölaitteita ja tunnistiteita, jotka sisältävät tietoa sähköisessä muodossa, tulee ottaa huomioon aineenkoetuksessa käytetyistä kuvantamismenetelmistä johtuvan säteilyn vaikutukset niihin. Vaarassa ovat erityisesti sähköiset tunnisteteet, jotka voivat joutua kuvausalueelle ja altistua säteilylle.

4.3 Radiografinen tarkastus

Radiografinen tarkastus on yksi rikkomattomista aineenkoetusmenetelmistä ja röntgen- sekä gammasäteilykuvaukset lukeutuvat sen alle. Röntgenkuvauksessa tutkittavan kappaleen taakse asetetaan röntgenfilmi ja materiaalin tiheydenvaihtelut esiintyvät filmissä tummuuksien vaihteluina. (Inkinen ym., 2003, s. 536.) Kuvassa 10 on esitetty radiografisen kuvauksen periaate.



Kuva 10. Radiografisen tarkastuksen periaatekuva (Matsusada Precision, 2022).

Röntgen- ja gammasäteily ovat ionisoivia säteilymuotoja, jotka materiaaliin absorboituessaan aiheuttavat ionisoitumista. Ionisoiva säteily on ihmiselle haitallista ja altistumisen vaikutukset riippuvat pääsääntöisesti säteilyannoksen määrästä. (Inkinen ym., 2003, s. 486.)

4.3.1 Säteilyn vaikutukset sähkölaitteisiin

Elektroniikasta läpi kulkeutuvat ionisoivat säteilypartikkelit voivat aiheuttaa erilaisia ongelmia piirien toimintaan kuten muistihäiriöitä ja odottamattomia transistorien tilavaihtoja. Ionipartikkeli voi muuttaa transistorin tilan johtaneeksi, kunnes laitteen sähkösyöttö katkaistaan ja pahimmassa tapauksessa se voi myös rikkoa laitteen kokonaan tai osittain. Vastaavasti muistipiireissä partikkeli voi muuttaa muistin sisältämää tietoa. (Jeffrey S. George, 2019.)

Maapalloon kohdistuu jatkuvasti kosmista säteilyä avaruudesta ja säteilyn aiheuttamia häiriöitä on mahdollista esiintyä kaikissa sähkölaitteissa mutta ne ovat harvinaisia.

4.4 Koeponnistus

Koeponnistuksessa siirtimet ponnistetaan ruosteenestoainetta sisältävällä vedellä vuotojen varalta. Siirrin paineistetaan vedellä oikeaan ponnistuspaineeseen korkeapainepumpun avulla, jonka jälkeen vesihanat suljetaan. Ponnistus katsotaan onnistuneeksi, jos paine ei laske siirtimessä mittausajan aikana.

Paikannusjärjestelmän näkökulmasta työvaiheessa ei havaittu muita riskejä kuin siirtimen ja ympäristön pintojen kastuminen vedellä.

4.5 Peittaus

Ruostumattomasta teräksestä valmistetuille siirtimien vaipoille tehdään peittaus. Peittaus suoritetaan huoneenlämmössä sitä varten tarkoitettussa suljetussa tilassa ja ennen työn aloittamista vaipan pinnasta puhdistetaan liat, rasvat ja öljyt sekä poistetaan mahdolliset hitsauskuonat mekaanisesti.

Peittauksessa vaippa upotetaan happoaltaaseen, joka sisältää typpihappoa ja fluorivetyhappoa. Peittausaika riippuu materiaalista mutta tyypillisesti sen kesto on parista tunnista neljään tuntiin.

Kun vaippa nostetaan pois peittausaltaasta, huuhdellaan se ensin käyttäen prosessivettä ja tämän jälkeen vielä puhtaalla vedellä painepesuria käyttäen, kunnes kaikki happo on saatu pois pinnoilta.

Peittaus tehdään koska ruostumattoman teräksen pinnan tulisi olla puhdas ja virheetön sekä valmistusprosessin aikana terästä suojaava kerros on voinut rikkoutua. Normaalisti teräksen pintaa suojaa korroosiolta ohut näkymätön oksidikerros, mutta valmistuksen aikana kuitenkin erilaiset asiat kuten rautapartikkelit, hiominen ja lämpö voivat vaurioittaa tätä kerrosta, jolloin korroosioriski kasvaa. (Avesta Polarit Welding AB, 1995.)

Kun ruostumattomasta teräksestä tehtyjä siirtimien vaippoja peitataan, ei niihin tulisi olla kiinnitettynä mitään ylimääräistä, jotta peittaustulos ei kärsi ja toisaalta peittauksessa käytettävät aineet ovat syövyttäviä, jolloin kylpyyn joutuvat esineet eivät todennäköisesti kestä ehjänä.

Paikannuksen kannalta peittaus on hankala vaihe. Jos vaippaan tarvitsee kiinnittää tunnisteita tai muita asioita, tulisi ne kiinnittää vasta peittauksen jälkeen tai vaihtoehtoisesti siirtimien mukana kulkevaan dokumenttinippuun, jota säilytetään peittauksen ajan peittaustilan ulkopuolella.

4.6 Pintakäsittely

Pintakäsittely sisältää siirtimien raepuhalluksen ja maalauksen.

Hiiliteräksestä ja ruostumattomasta teräksestä valmistetut siirtimet raepuhalletaan omissa puhalluskammioissaan käyttäen materiaaleille sopivia puhallusrakeita. Kaikki tiivistepinnat, putkiyhteet, aukot ja kierteet suojataan tai tulpataan jotta ne eivät vaurioidu.

Hiiliteräksestä valmistetut vaipat raepuhalletaan ensin sisäpuolelta sen jälkeen, kun ne ovat poistuneet vaipanvalmistuksen alueelta. Vaipan sisäpuolisen raepuhalluksen jälkeen ne siirretään kasauksen alueelle, jossa levypakka asennetaan vaipan sisäpuolelle. Kasauksen jälkeen siirtimet menevät loppuhitsaukseen ja sen jälkeen raepuhalletaan vielä ulkopuoli ennen maalausta.

Ruostumattomasta teräksestä valmistetut siirtimet puhalletaan pääsääntöisesti vain ulkopuolelta, mutta paikannuksen kannalta tulee varautua myös siihen, että sisäpuolinen pinta puhalletaan. Molemmissa tapauksissa ulkopuolisen raepuhalluksen jälkeen siirrin siirretään maalaamoon, jossa se maalataan.

Yrityksen maalaamo luokitellaan räjähdysvaaralliseksi tilaksi, joten sinne asennettavissa tai vietävissä sähkölaitteissa tulee ottaa huomioon, että laitteet täyttävät Ex-tilan vaatimukset. Jos tilan varustelua muutetaan olennaisesti, tulee täydentää ja päivittää räjähdysuojasiasiakirja ja siinä oleva laiteluettelo (Tukes, n.d.)

Ensisijaisesti tulisi tarkastella onko maalaamoon tarpeellista asentaa tai viedä ylimääräisiä laitteita, vai voitaisiinko ne asentaa tai jättää tilan ulkopuolelle.

Molemmat työvaiheet ovat hankalia paikannuksen kannalta. Ne suoritetaan muusta hallista suljetuissa tiloissa ja käsiteltävillä pinnoilla ei voi olla kiinnitetynä mitään, jotta työvaiheet saadaan suoritettua kunnolla. Kuten peittauksessa, olisi raepuhalluksessa ja maalauksessa mahdolliset tunnisteet parempi kiinnittää siirtimen mukana kulkeviin dokumentteihin kuin itse siirtimeen.

4.7 Kuivaus

Koeponnistuksen ja maalauksen jälkeen siirtimet viedään kuivaamoon. Kuivaamotiloja on kaksi joista toinen on tarkoitettu maalauksen jälkeiselle kuivaukselle ja toinen siirtimen sisäpuoliselle kuivaukselle koeponnistuksen jälkeen. Kuivaamot ovat muusta hallista suljettuja tiloja.

Lämmönsiirtimen sisäpuolisessa kuivauksessa siihen liitetään letkuja, joilla sen läpi puhalletaan lämmintä ilmaa ja lisäksi prosessia voidaan tehostaa tyhjiöpumpun avulla. Ennen kuivausta siirtimestä valutetaan koeponnistuksen jälkeinen ylimääräinen vesi pois kallistelemalla sitä.

Käytössä olevan kuumailmapuhaltimen lämmityspiirissä kiertää noin 75-asteista vettä ja kuivaamon menoilman lämpötila on noin 66-astetta yrityksen rakennusautomaatiosta tarkastettuna. Ympäröivän ilman todettiin olevan noin 35-astetta kuivaamossa, jossa siirtimiä oli sisäpuolisessa kuivauksessa. Lämpötila mitattiin kuivaustilan perältä digitaalisella Elcometer 212-lämpömittarilla. Mittaustapahtuman aikana tilan toisessa päädyssä olevat ovet olivat auki.

Kuivauksessa ei havaittu muita paikannukseen vaikuttavia asioita kuin ympäristön lämpötilan nouseminen normaalia huonelämpötilaa korkeammalle.

5 SISÄTILAPAIKANNUS

Sisätilapaikannus tarkoittaa asioiden sijainnin määrittämistä sisätiloissa. Tässä työssä on käsitelty ratkaisuja, joista osa on reaaliaikaisia ja osa perustuu työntekijöiden tai laitteistojen tekemiin lukutapahtumiin ja kirjauksiin tietyissä pisteissä.

Alkuperäisessä työpaikalla tehdyssä aloitteessa oli ratkaisuksi ehdotettu esimerkkinä GPS-pohjaista paikannusjärjestelmää. Mahdollisia ratkaisuja ongelmaan pohtiessa tulee mieleen helposti GPS:n hyödyntäminen paikannuksessa. GPS toimii esimerkiksi puhelimien karttasovellusten kanssa nykyään melko luotettavasti ja tarkasti kertomaan sen hetkistä sijaintia. Sillä on kuitenkin rajoitteita, joiden takia sitä ei voida käyttää paikannukseen rakennusten sisällä.

Jos paikannettava asia on ulkotiloissa tai sen karkea sijainti esimerkiksi rakennustasolla riittää, voisi GPS-pohjainen ratkaisu olla toimiva. Tämänlainen tilanne voisi esimerkiksi olla, jos yrityksen kulkuneuvoja haluttaisiin seurata.

5.1 GNSS ja GPS

Global Positioning System eli GPS on Yhdysvaltojen omistama ja ylläpitämä satelliittijärjestelmä, joka kehitettiin alun perin sotilaskäyttöön mutta nykyään sitä hyödynnetään myös jokapäiväisissä siviilikäyttöön tarkoitetuissa laitteissa kuten navigaattoreissa, puhelimissa, tietokoneissa sekä monissa muissa laitteissa ympäri maailmaa. (GPS, n.d.-a.)

GPS:n runkona toimii maapallon ilmakehään laukaistujen satelliittien verkko. Satelliitit lähettävät radiosignaalia, joka sisältää niiden sijainnin, tilan ja tarkan ajan. GPS:ää käyttävät laitteet laskevat sijainnin hyödyntämällä radiosignaalin kulkeutumiseen menneen ajan satelliitilta laitteelle. Kun signaali on saatu vähintään neljältä satelliitilta, voi laite laskea sijaintinsa geometrian avulla. (GPS, n.d.-b.)

Yhdysvaltojen GPS:n lisäksi on olemassa myös muita satelliittinavigointijärjestelmiä, kuten eurooppalainen Galileo, Venäjän GLONASS ja Kiinan BeiDou. Niitä kaikkia kutsutaan yleisesti maailmanlaajuisiksi satelliittinavigointijärjestelmiksi (GNSS – Global Navigation Satellite System). (EUSPA, 2025.)

Rakennuksien sisällä paikannukseen ei voida käyttää satelliittinavigointijärjestelmiä luotettavasti koska niiden signaalit eivät kulkeudu sisätiloihin hyvin, jolloin ne ovat epätarkkoja. Ongelmia syntyy myös, jos rakennuksessa useampia kerroksia. Ulkotiloissa ne toimivat paremmin mutta saattavat silti olla epätarkkoja, jos signaalien eteen tulee esteitä kuten korkeita rakennuksia. (Maanmittauslaitos, n.d.)

Tässä tilanteessa tulee pohtia sisätilapaikannusjärjestelmän asentamista tai muita vaihtoehtoja sijaintitiedon ylläpitämiseen ja esittämiseen.

6 RATKAISUVAIHTOEHDOT

Ratkaisuja kuten myöhemmin käsiteltyä reaaliaikaista paikannusjärjestelmää (RTLS) toimittavia yrityksiä löytyy monta sekä kotimaasta että ulkomailta. Työssä ei ole vertailtu samaa teknologiaa tarjoavia yrityksiä keskenään, vaan yleisesti ratkaisujen soveltuvuutta ympäristöön.

Työhön käsiteltäväksi valittuihin ratkaisuihin on vaikuttanut yleinen tiedon saatavuus ja ratkaisun soveltuvuus valmistavaan teollisuuteen sekä skaalautuvuus laajempaan käyttöön, jossa seurattavia ja paikannettavia kohteita on paljon. Paikannusta on lähestytty eri näkökulmista hyödyntäen mahdollisuuksien mukaan myös jo käytössä olevia järjestelmiä.

6.1 Manuaalisesti ylläpidettävä sijaintitieto

Sijaintitietoa voitaisiin ylläpitää manuaalisesti suoraan yrityksen toiminnanohjausjärjestelmässä tai sitä varten kehitetyssä verkkoselainpohjaisessa sovelluksessa.

Yrityksellä on tällä hetkellä käytössä Visma L7 -toiminnanohjausjärjestelmä ja tuotantohalliin on myös asennettu infonäyttöjä, joissa näkyy Visma LTR -ohjelmiston esittämä esimääritely selainpohjainen näkymä.

Visma LTR on lisäintegraatio Visma L7 -toiminnanohjausjärjestelmään, joka lisää työnohjauksen, työtapahumien ja varastonhallinnan ominaisuuksia (Visma, n.d.)




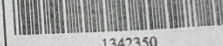
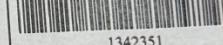
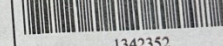
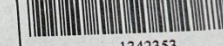




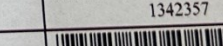
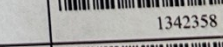

Visma L7 -ohjelmisto toimii tietokoneilla, joissa on Windows-käyttöjärjestelmä mutta selainpohjainen LTR-näkymä on mahdollista myös avata käyttäen muita käyttöjärjestelmiä ja laitteita, joihin saa verkkoselaimen asennettua. Kuvassa 11 näkyy vaipanvalmistuksen alueella oleva infonäyttö ja tietokone, jota työntekijät käyttävät työvaiheiden kuittaukseen.



Kuva 11. Vaipanvalmistuksessa oleva tuotantotietokone ja LTR-infonäyttö.

Infonäytön näkymässä on esitetty keskeneräisten siirtimien tietoja vanhimasta uusimpaan ja sarakkeisiin on määritelty näkymään erilaisia tietoja riippuen mitkä ovat olennaisia kyseiselle osastolle, johon näyttö on asennettu. Esimääriteltyjä näkymiä on mahdollista tehdä monia ja näkymässä näkyvät sarakkeet ovat täysin muokattavissa.

Näkymässä voi näkyä esimerkiksi siirrinnumero, materiaali, tilaaja, tarkastuslaitos ja työn suunniteltu aloituspäivä sekä monia muita valmistukseen liittyviä tietoja. Näiden kiinteiden tietojen lisäksi näkymään on määritelty sarakkeita, jotka voivat sisältää tuotannon aikana muuttuvaa tietoa. Esimerkkinä vaippasarakkeessa näkyy vaipanvalmistuksen tila sekä ajankohta, jolloin tieto on päivittynyt järjestelmään. Kuvassa 12 on esitetty vaipanvalmistuksen tilan sarake.

Phase no	Phase name		Työkortti Work card
105	Vaippalevyn poltto Cutting of the shell	1648	 20.2.2025 1342347
110	Vaippalevyn mankelointi Rolling of the shell	1648	 20.2.2025 1342348
115	Vaipan pituussauman hitsaus Welding of the longitude seam		 20.2.2025 1342349
120	Vaipan reijitys Cutting holes to the shell		 20.2.2025 1342350
135	Vaippayhteiden hitsaus ja silmämääräinen tarkastus Welding of the nozzle and visual inspection		 21.2.2025 1342351
137	Jalan valmistus Feet manufacturing		 24.2.2025 1342352
139	Siirtimen koonti ja silmämääräinen tarkastus Assembly of the heat exchanger and visual inspection		 24.2.2025 1342353
163	Päätyjen pyörytys Welding of the end plate to the shell		 24.2.2025 1342354
165	Loppuhitsaus Final welding		 25.2.2025 1342355
170	Laaduntarkastus Quality control		 25.2.2025 1342356
172	Korjaus Repair		 25.2.2025 1342357
175	Siirtimen koeponnistus Pressure test for the heat exchanger		 25.2.2025 1342358
180	Pintakäsittely Surface finish		 25.2.2025 1342359
250	Pakkaus Packing		 25.2.2025 1342361

Kuva 13. Työkortissa olevat työvaiheet ja viivakoodit.

6.1.1 Sijaintitietosarake toiminnanohjausjärjestelmään

Käytössä olevaan Visma LTR-näkymään voitaisiin lisätä sarake, jossa näytettäisiin siirtimen viimeisin sijainti perustuen työntekijän tekemiin kuittauksiin työn aikana ja työn aloituksen sekä lopetuksen yhteydessä.

Osastojen hitsauskopit on yksilöity kirjain- ja numeroyhdistelmillä. Hitsauskopit on myös varusteltu Applen iPad tabletilla, jota työntekijä voi käyttää tekemään vika- ja huoltoilmoituksia kunnossapidon työnohjausjärjestelmään sekä katsomaan hitsauskarttoja ja työohjeita.

Tablettia voitaisiin myös mahdollisesti käyttää tulevaisuudessa apuna töiden kuittauksiin ja siirtimen sijainnin päivittämiseen selainpohjaisen LTR-näkymän kautta, kun työ aloitetaan ja lopetetaan. Vanhaa toimintatapaa, jossa työntekijä käy erillisellä tietokoneella tekemässä kuittaukset voitaisiin myös käyttää.

Yrityksen IT-osaston kanssa käytyjen keskustelujen mukaan käytössä oleva toiminnanohjausjärjestelmä toimii kuitenkin hitaasti langattomalla yhteydellä, jolloin tablettia ei ole järkevää käyttää työvaiheiden kuittauksiin. Ohjelmiston hitauteen voi osittain vaikuttaa järjestelmän hakema suuri tietomäärä ja hallissa olevien WLAN-tukiasemien määrä, joka on vähäinen.

Työn aloituksen yhteydessä sijaintietosarakkeeseen päivittyisi hitsauskopin numero tai muu määritetty sijainti, jossa työtä tehdään. Lopettaessa se muuttuisi joko esimääritellyyn varastointialueeseen, joka olisi merkitty myös kirjain ja numeroyhdistelmällä tai vaihtoehtoisesti työvaiheen jälkeinen sijainti voitaisiin pyytää syöttämään järjestelmään.

Tätä lähestymistapaa varten tulisi eri työvaiheisiin liittyvät varastointialueet merkitä hyvin. Siirtimet tulisi myös viedä järjestelmään merkattuun sijaintiin. Jos siirrin viedään työpisteelle, tulisi se myös kuitata heti aloitetuksi järjestelmään, jolloin myös sijaintitieto päivittyisi ja se olisi mahdollisimman tarkka.

Ratkaisun teknisestä toteutettavuudesta nykyisessä järjestelmässä ei ole täyttä varmuutta koska ohjelmista julkisesti saatavilla oleva dokumentointi ja tieto on vähäistä.

Yrityksessä on myös menossa varastonhallinnan kehittämisen selvitysprojekti IT-osaston kanssa käytyjen keskustelujen mukaan sekä toiminnanohjausjärjestelmän vaihtaminen toiseen on ollut myös käsittelyssä, jolloin nykyiseen järjestelmään ei välttämättä ole kannattavaa lisätä sijainninseurannan toiminnallisuutta tällä hetkellä.

Toiminnanohjausjärjestelmissä on eroja, jolloin jossain toisessa ohjelmistossa käsitelty lähestymistapa voi olla helposti toteutettavissa.

6.1.2 Räättälöity sovellus sijaintitiedon tallentamiseen

Vaihtoehtoisesti sijaintitiedon tallentamiseen ja esittämiseen voitaisiin kehittää myös yksinkertainen verkkoselaimella toimiva sovellus, joka toimisi yrityksen sisäverkossa. Selaimessa toimivaan sovellukseen olisi myös helppo pääsy tuotannon tableteilta, puhelimilta ja tietokoneilta. Tieto syötettäisiin sovellukseen ja se tallentuisi sen kautta relaatiotietokantaan kuten MySQL tai PostgreSQL. Sijaintiedot voitaisiin hakea tietokannasta takaisin ohjelmaan esitettäväksi.

Pelkästään sijaintitietoa ylläpitävän sovelluksen kehittämisenkään ei vaikuta järkevältä koska lähtökohtaisesti tiedon syöttämisen tulisi tapahtua samassa hetkessä ja sovelluksessa missä kuitataan työvaiheet aloitetuksi ja työtunnit merkataan, jolloin prosessi ei muutu turhan monimutkaiseksi.

Jos sijaintitieto päivitetään erillisessä sovelluksessa manuaalisesti, syntyy myös riski, että tietoa ei päivitetä koska se unohdetaan tehdä tai koetaan valinnaiseksi.

6.1.3 Yhteenveto

Paikkatietosarakkeen lisääminen nykyiseen sekä mahdolliseen uuteen tulevaan toiminnanohjausjärjestelmään voisi olla hyvä ja edullinen vaihtoehto sijaintitiedon ylläpitämiseksi ensi alkuun, jos reaaliaikaiselle sijaintitiedolle ei nähdä tarvetta. Toiminnanohjausjärjestelmään toiminnallisuuden lisäys ei myöskään vaadi isoja kustannuksia koska järjestelmä on jo käytössä eikä sitä varten tarvitse asentaa tai hankkia lisää fyysisiä laitteita tai laitteistoja.

Nykyiseen tietokoneella käytettävään Visma L7-ympäristöön toiminnallisuutta saattaa kuitenkin olla hankala saada mutta jos verkkopohjaisen LTR-integraation laajempaan käyttöön siirtyminen tai järjestelmän vaihto kokonaan toiseen on mahdollisesti edessä, on niihin todennäköisesti helpompi saada kyseinen ominaisuus.

6.2 Reaaliaikainen paikannusjärjestelmä

Reaaliaikaiset paikannusjärjestelmät eli RTLS-järjestelmät (RTLS - Real Time Locating Systems) koostuvat kiinteästi asennettavista vastaanottimista, tunnisteista ja ohjelmistosta, jotka kokonaisuutena tuottavat reaaliaikaista paikkatietoa.

Vastaanottimet lukevat paikannettaviin asioihin kiinnitettyjen tunnisteiden lähettämiä viestejä. Vastaanottimet välittävät tiedon eteenpäin paikannusohjelmistolle, jossa tunnisteiden paikkatiedon laskenta tapahtuu. Teknologioita järjestelmien toteutukselle on monia kuten Wi-Fi, BLE (Bluetooth Low Energy) ja UWB (Ultra-Wideband).

6.2.1 Reaaliaikainen paikannusjärjestelmä ja sen hyödyt

Reaaliaikaisten paikannusjärjestelmien suurin hyöty saadaan niiden nimensä mukaisesta tiedon reaaliaikaisuudesta ja määrästä. Järjestelmän fyysinen toteutus voi kuitenkin rajoittaa toimintaa, jos peittoalue ei ole riittävä kaikkialla.

Reaaliaikaisilla paikannusjärjestelmillä saatavasta sijaintitiedosta voidaan tehdä monia päätelmiä sijainnin lisäksi ja tietoa voidaan käyttää apuna myös monessa muussa asiassa. Järjestelmän avulla voidaan löytää työkalut, koneet ja laitteet, joihin on kiinnitetty tunniste.

Järjestelmäkokonaisuuden tuottamasta sijaintitiedosta on mahdollista muodostaa lämpökarttoja (heatmap) joista käy ilmi millä alueilla tunnisteiden tai tunnisteiden liike on ollut tiheämpää määritellyllä ajanjaksolla. Historiallisesta datasta voidaan myös selvittää, kauanko tunniste on ollut alueen sisällä, josta voidaan tehdä päätelmiä esimerkiksi tuotantovaiheiden kestosta tai varastointiajoista. Kuvassa 14 on esimerkki lämpökartasta Sewion toimittamassa RTLS-järjestelmässä.



Kuva 14. Lämpökartta Sewio RTLS-järjestelmässä (Sewio Networks, n.d.)

RTLS-järjestelmän avulla voidaan parantaa yritysten tuottavuutta, tehokkuutta ja turvallisuutta. Reaaliaikainen paikannusjärjestelmä antaa mahdollisuuden seurata ja paikantaa mitä tahansa fyysistä asiaa, jolloin voidaan myös tarkastella ja optimoida asioita kuten materiaalivirtoja. Valmistusprosessin pulonkauloja on myös helpompi havaita reaaliaikaisen paikannuksen avulla. (Quuppa, 2021.)

Vaarallisille alueille saapuessa työntekijöitä voidaan varoittaa tai järjestelmää voidaan käyttää apuna tunnistamaan työntekijät, jotka saattavat vielä olla työpaikalla palohälytyksen sattuessa ja toisaalta selvittää kuinka moni on jo saapunut kokoontumispaikalle.

Paikannuksen tarkkuudet voidaan jakaa kolmeen tasoon, jotka ovat läsnäolo (presence), läheisyys (proximity) ja tarkka paikannus (positioning) (Quuppa, 2021).

Läsnäolo on epätarkin taso ja kertoo vain, onko paikannettava asia alueella (Quuppa, 2021). Sillä selviää, onko tunnistee saapunut alueelle tai lähtenyt sieltä. Alueen sisäänkäynnin yhteyteen voidaan asentaa yksittäinen vastaanotin, joka havaitsee alueelle saapuvat tai sieltä poistuvat tunnisteeet.

Läheisyystasolla voidaan kertoa tunnisteen karkea sijainti alueella perustuen signaalivahvuuteen (Quuppa, 2021). Tällä lähestymistavalla ei saavuteta täyttä ja tarkkaa peittoaluetta mutta voidaan kuitenkin kertoa paikannettavan asian karkea sijainti asentamalla tärkeimpiin sijainteihin vastaanotin, jos tarkkaa sijaintitietoa ei tarvita.

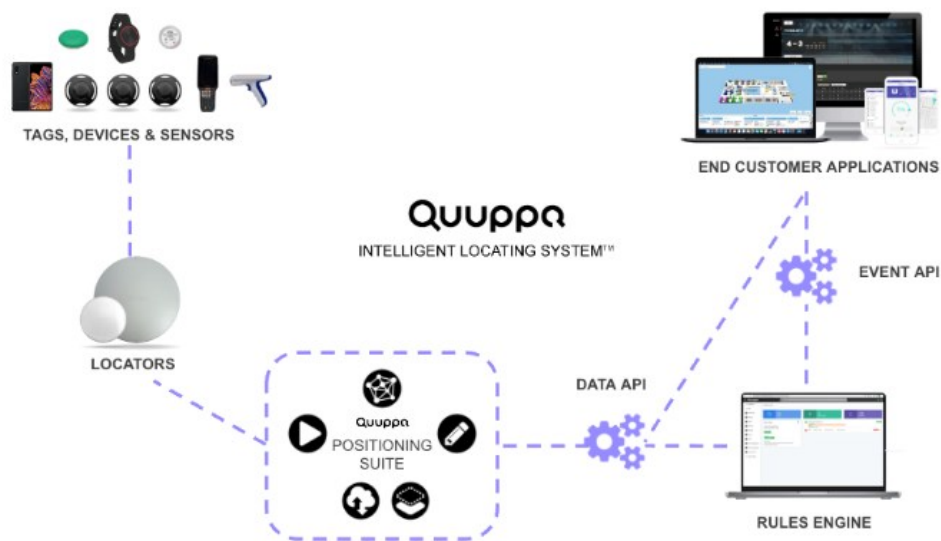
Tarkan paikannuksen tasolla voidaan kertoa tarkasti ja reaaliaikaisesti missä paikannettava asia on ja missä se on aikaisemmin ollut. Tästä saatavaa tietoa voidaan erityisesti käyttää apuna tuotantotehokkuuden ja reittien optimoinnissa. (Quuppa, 2021.) Toteutus vaatii useiden vastaanottimien asentamista, jolloin saadaan koko alueen kattava peittoalue.

6.2.2 Quuppa RTLS

Tässä työssä on käsitelty esimerkkinä Quupan tarjoamia laitteita ja ohjelmia. Quuppa on suomalainen teknologiayritys, jonka kehittämä Quuppa Intelligent Locating System tuottaa tarkkaa ja reaaliaikaista paikkatietoa erilaisiin paikkatietoa vaativiin ratkaisuihin (Quuppa, n.d.-a).

Quuppa RTLS on reaaliaikainen paikannusjärjestelmä, joka koostuu ohjelmistosta, vastaanottimista ja tunnistuksista. Quupan ratkaisussa tunnistesten lähettämiä viestejä vastaanottavia laitteita kutsutaan lokaattoreiksi. Lokaattorit asennetaan ympäristöön kiinteästi ja ne vastaanottavat tunnistesten viestejä.

Järjestelmä perustuu BLE (Bluetooth Low Energy) teknologiaan ja paikannustarkkuudessa saavutetaan alle metrin tarkkuus (Quuppa, n.d.-b). Kuvassa 15 on esitetty järjestelmän rakenne.



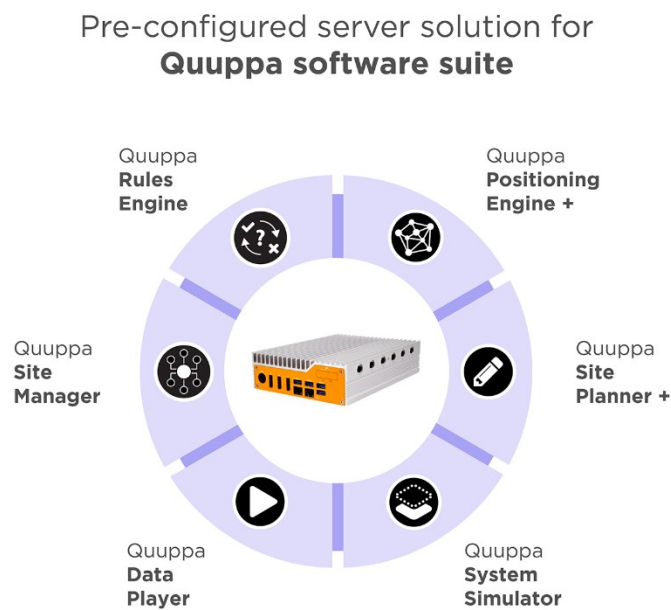
Kuva 15. Quuppa Intelligent Locating System (n.d.-b).

6.2.3 Ohjelmisto

Quuppa tarjoaa kattavan ohjelmistopakettin, josta löytyy työkalut järjestelmän suunnitteluun, simulointiin, testaukseen, konfigurointiin ja käyttööntoon sekä hallintaan (Quuppa, n.d.-b).

Quuppa Positioning Engine (QPE) on järjestelmän ydin johon lokaattorit välittävät tunnisteen tiedot. Tunnisteen paikkatiedon laskeminen tapahtuu sen kautta. QPE tarjoaa JSON/REST-rajapinnan, jolloin järjestelmän tuottamaa dataa voidaan viedä myös muihin järjestelmiin. (Quuppa, n.d.-d.)

Quuppa toimittaa myös esikonfiguroitua palvelinratkaisua helppoa käyttööntoa varten (Quuppa, n.d.-e).



Kuva 16. Quupan esikonfiguroitu palvelinratkaisu (Quuppa, n.d.-e).

Quuppa Site Planner (QSP) ohjelmistoa voidaan käyttää apuna järjestelmän toteutuksen suunnittelussa. Sen avulla voidaan arvioida kuinka monta lokaattoria tarvitsee asentaa riittävää peittoaluetta varten ennen fyysistä asennusta (Quuppa, n.d.-f.)

Valmiin Quuppa Rules Engine (QRE) ohjelman avulla voidaan määrittää erilaisia logiikkasääntöjä tunnisteille sekä hakea niiden nykyisiä ja menneitä tietoja ilman että sitä varten tarvitsee tehdä erillistä siihen tarkoitettua sovellusta. Alueita voidaan jakaa virtuaalisilla rajauksilla pienempiin osiin ja sen perusteella mihin alueelle tunniste saapuu, voidaan määrittää erilaisia tapahtumia. Sen kautta sijaintitietoja tarvitsevat henkilöt voivat myös paikantaa tunnisteita. Ohjelmalla voidaan myös muodostaa erilaisia raportteja alueilla olevista tunnisteista. (Quuppa, n.d.-g.)

Quupan tarjoamaa ratkaisua voidaan siis suoraan käyttää sellaisenaan, jos koetaan että se on toiminnoiltaan riittävä. Jos kuitenkin halutaan lisäominaisuuksia tai toiminnallisuuksia, vaihtoehtona on ulkoistaa sovelluksen teko ulkopuoliselle sovelluskehittäjälle tai käyttää Quupan ratkaisukumppaneita.

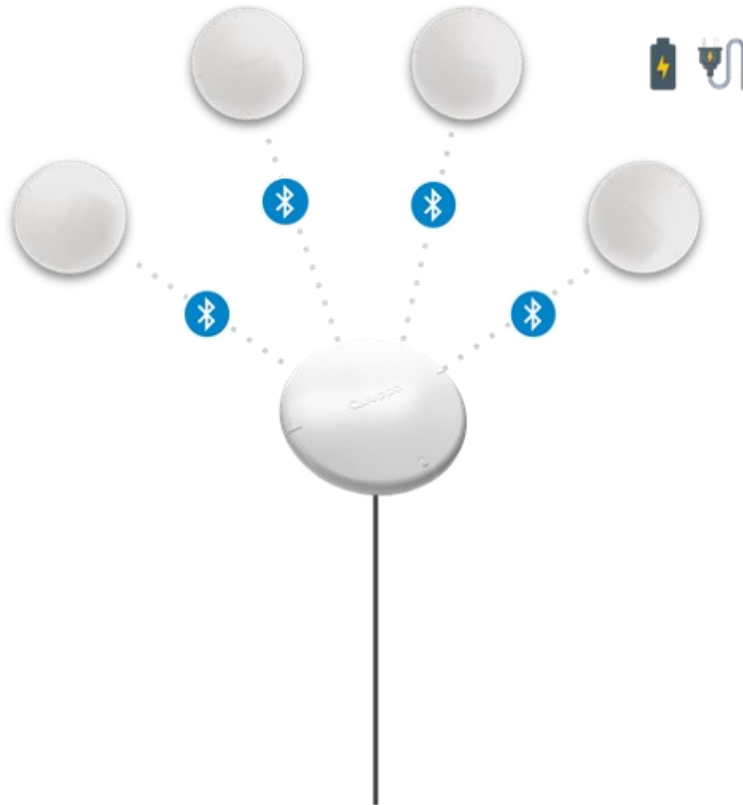
6.2.4 Lokaattorit

Lokaattorit muodostavat Quupan paikannusjärjestelmän rungon. Ne vastaanottavat tunnisteiden, laitteiden sekä antureiden lähettämiä radiopaketteja ja välittävät ne eteenpäin Quuppa Positioning Enginelle prosessointia varten. Lokaattori vaihtoehtoja on kaksi, Q17-malli soveltuu puhtaisiin sisätiloihin ja Q35 teollisuusympäristöihin sekä ulkoalueille (Quuppa, n.d.-h).

Molempia malleja voidaan käyttää samassa projektissa, jotta saavutettaisiin optimaalisin peittoalue paikannukselle. Laitteet tukevat myös POE-tekniikkaa (Power over Ethernet) sekä Quupan langatonta Q-link ominaisuutta. (Quuppa, n.d.-h.)

Käyttäessä langatonta vaihtoehtoa täytyy lokaattoreille tuoda kuitenkin käyttö-sähkö USB-johdon ja muuntajan avulla. Langattomasti järjestelmään yhdistyviä lokaattoreita kutsutaan satelliittilokaattoreiksi ja ne yhdistyvät verkkokaapeloidun lokaattorin kautta Quupan ohjelmistoon. Q17-lokaattorilla etäisyys satelliittilokaattoreihin suljetuissa tiloissa on 15 metriä ja kun käytetään Q35-

lokaattoria voi etäisyys satelliitteihin olla jopa 100 metriä ulkotiloissa tai muuten avoimilla alueilla. (Quuppa, n.d.-e.)

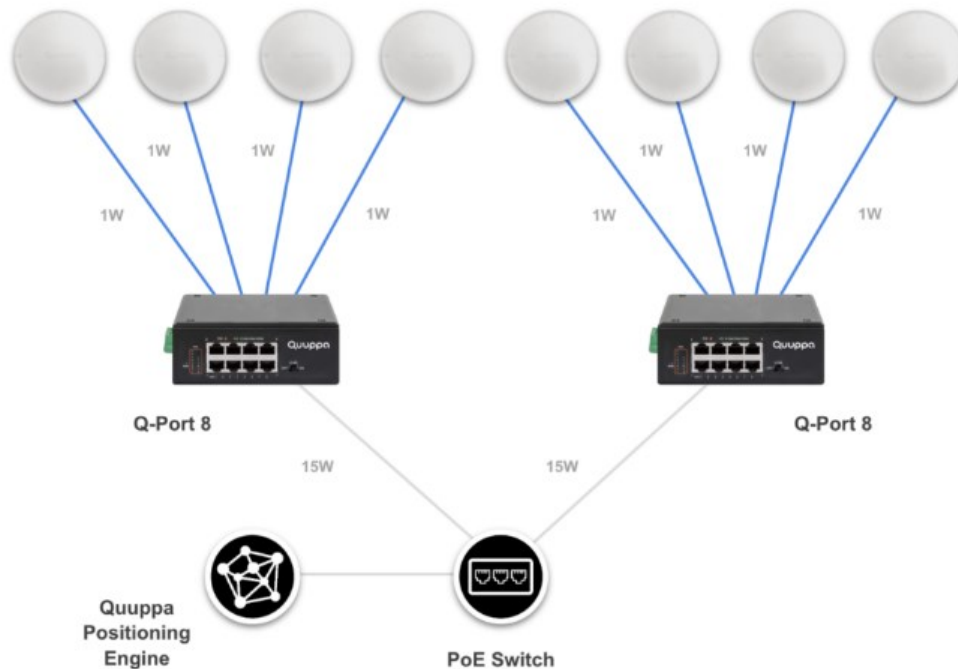


Kuva 17. Quuppa Q-link (Quuppa, n.d.-k).

Langattomien lokaattorien käyttäminen voi olla hyödyllistä esimerkiksi toimistoympäristöissä, joissa on jo sähköä saatavilla laajasti ja verkkojohtokaapelointia ei koeta järkeväksi vaihtoehdoksi. Tuotantotilojen puolella voidaan langattomalla ratkaisulla myös helpottaa hankaliin paikkoihin peittoalueen luomista, jos alueella on jo olemassa pistorasioita.

Ennen lokaattorien asentamista tulee huomioida, että niitä ei voida ketjuttaa vaan jokaiselle lokaattorille täytyy tuoda oma verkkojohto, josta laite saa käytösähkön ja liittynän järjestelmään. Järjestelmän suunnittelussa tulee ottaa huomioon, miten lokaattorit ja hajautinlaitteet olisi järkevin sijoittaa, että vältetään turhan pitkiltä kaapelivedoilta.

Quuppa Q-Port-hajauttimien avulla verkkoa on mahdollista jakaa pienempiin tähtiverkkoihin, jolloin tarvittavaa kaapeloinnin määrää saadaan vähennettyä (Quuppa, n.d.-j). Kuvassa 18 on esitetty esimerkki verkkotopologiasta, jossa lokaattoreita on kytketty hajautinlaitteisiin.



Kuva 18. Esimerkki lokaattorien liittymisestä paikannusohjelmistoon käyttäen Q-Port-laitteita apuna hajautuksessa (Quuppa, n.d.-e).

Tarvittavaan lokaattorien määrään ei ole oikeaa vastausta vaan siihen vaikuttaa ympäristön ominaisuudet sekä se, että kuinka tarkasti halutaan paikantaa eri alueilla. Varastotiloissa saattaa riittää yhden lokaattorin asentaminen sisäänkäynnin yhteyteen lukemaan alueelle tulevat ja sieltä poistuvat tunnistet, jos tarkempaa sijaintia ei tarvita.

6.2.5 Tunnisteet

Tunnisteet kiinnitetään asioihin, joita halutaan seurata ja paikantaa. Kiinnitysvaihtoehtoja tunnisteille on erilaisia. Joissain tunnisteissa on liimapinta ja joissain valmiit reiät ruuvikiinnitystä varten. Tunnisteet voidaan myös kiinnittää magneetin avulla. Huomioitavaa on kuitenkin, että magneetilla ei voida kiinnittää ruostumattomasta teräksestä valmistettuihin asioihin kuten siitä valmistettuihin lämmönsiirtimiin.

Magneetin lisäksi tunnisteet voitaisiin helposti myös ripustaa putkiyhteisiin tai muuhun siirtimen osaan käyttäen metallilankaa, mutta valmistusprosessin alkupuolella on huonosti kohtia, johon ripustaa sekä riskinä on että tunniste tippuu.

Tunniste voitaisiin myös kiinnittää jousitoimiseen puristimeen, jolloin se on helppo kiinnittää ja irrottaa siirtimestä sekä puristimen avulla se voidaan kiinnittää sekä hiiliteräkseen että ruostumattomaan teräkseen. Puristin tarvitsee kuitenkin sopivan kohdan siirtimestä, johon se voidaan kiinnittää. Puristimien paikkaa on helppo vaihtaa, jos se on tiellä.



Kuva 19. Jousitoiminen liimapuristin (ESSKA, n.d.)

Tunnisteet voitaisiin myös siirtimien tapauksessa kiinnittää niiden mukana kulkeviin dokumentteihin, jolloin ne eivät kärsi valmistuksen aikana. Työntekijöiden kanssa käytyjen keskustelujen mukaan myös dokumentit ovat joskus hukassa.

Joissain tunnisteissa on myös nappi, LED-merkkivalo tai äänimerkki, joilla voidaan laajentaa niiden toiminnallisuuksia. Äänimerkkiä ja merkkivaloa voitaisiin käyttää apuna löytämään oikea tunniste tai kohdistamaan huomio johonkin asiaan.

Quuppa tarjoaa kahta erilaista tunnistemallia sekä yhteistyökumppanien kautta löytyy laajemmin valinnanvaraa järjestelmän kanssa yhteensopivista tunnisteista.

Quupan QT3-1 tunniste on pienikokoinen ja siinä on myös integroitu nappi sekä LED-merkkivalo, joita voidaan käyttää lisäämään toiminnallisuuksia järjestelmään. Tunnisteella on IP68 suojausluokka ja akunkestoksi luvataan kymmenen vuotta. (Quuppa, n.d.-i.)



Kuva 20. Quuppa QT3-1 -tunniste (Quuppa, n.d.-i).

Kolmansilta osapuolilta löytyy myös tunnisteita, joissa on E-Ink-näyttö tietojen näyttämistä varten tunnisteeseen yhteydessä.

E-Ink-näyttöjen avulla on mahdollista ohjata valmistusprosessia paperittomaan suuntaan. Näytöillä voidaan esittää erilaisia ajankohtaisia ja tärkeitä tietoja liittyen valmistusprosessiin ja tietoja on mahdollista päivittää valmistuksen aikana. (IntraNav, n.d.)



Kuva 21. Sepioo D2.6 B E-Ink tunnistekortti (Quuppa, n.d.-c).

RTLS-järjestelmän kanssa yhdistettynä E-Ink-näyttöjä voitaisiin hyödyntää esimerkiksi kertomaan näytöllä, onko tunnistekortti oikealla alueella RTLS-järjestelmään luotujen virtuaalisten rajausten avulla.

Järjestelmässä käytettävät tunnistekortit voidaan käyttää uudelleen. Valmistusprosessin lopussa ne irrotetaan ja viedään odottamaan kiinnitystä seuraavaan asiaan. Tunnistekorttien sähköiset tiedot on kuitenkin muutettava vastaamaan uutta kohdetta.

6.2.6 Yhteenveto

RTLS-järjestelmällä saadaan lämmönsiirtimien reaaliaikaisen sijaintiedon lisäksi tarvittaessa paljon muutakin arvokasta tietoa tuotantoprosessista ja järjestelmää on myös mahdollista hyödyntää helposti muidenkin asioiden paikannukseen kuten trukkien, työkalujen ja laitteiden, josta voi myös olla hyötyä.

Järjestelmästä saatava ja kerättävä tieto voi sijainnin lisäksi muutenkin arvokasta yritykselle koska sitä voidaan käyttää apuna tekemään havaintoja valmistusprosessista ja analysoimaan asioita kuten valmistusprosessin läpimenoaika ja materiaalivirtoja käyttäen apuna esimerkiksi paikkatiedon pohjalta luotavia lämpökarttoja. Järjestelmän toteuttaminen vaatii kuitenkin jo enemmän investointeja ja suunnittelua kuin manuaalisesti ylläpidettävä sijaintitieto.

6.3 RFID-teknoologiaan pohjautuva sijaintitieto

RFID-teknoologian osalta yksittäistä laitetoimittajaa ei ole valittu, vaan kokonaisuuteen liittyviä asioita on käsitelty yleisesti ja poimintoja on tehty eri toimittajien sekä valmistajien valikoimista.

RFID (Radio Frequency Identification) on langaton radiotaajuuksiin perustuva teknoologia, jonka avulla voidaan siirtää tietoja ja tunnistaa erilaisia asioita, joihin on kiinnitetty RFID-tunniste. RFID-järjestelmä koostuu yleensä tunnistuksista, lukijalaitteista ja niihin kytketyistä antenneista sekä kaapeloinneista mutta se voi pienimmillään rakentua myös pelkästä käsikäyttöisestä lukijalaitteesta ja tunnistuksista. (atlasRFIDstore, n.d.-a.) Fyysisten laitteiden lisäksi tarvitaan ohjelmistot tietojen tallennusta ja esitystä varten.

RFID-teknoologia on lähtökohtaisesti tarkoitettu asioiden tunnistukseen nimensä mukaisesti, mutta sitä on myös mahdollista käyttää apuna sijaintitiedon ylläpitämisessä.

RFID-tunnisteita voidaan verrata viivakoodeihin, mutta RFID:n etuna on se, että lukulaitteella ei tarvitse olla näköyhteyttä tunnisteseen vaan se voidaan lukea esimerkiksi pahvilaatikon läpi (atlasRFIDstore, n.d.-a). Teknologia suoriutuukin hyvin varastonhallinnan ratkaisuissa, joissa halutaan lukea esimerkiksi kuormalavalla olevien pahvilaatikoiden sisältö ja määrät ilman että niitä tarvitsee avata.

Toimintataajuudet voidaan jakaa kolmeen taajuusalueeseen, jotka ovat matalataajuus (LF), korkeataajuus (HF) ja ultra-korkea taajuus (UHF). Taajuusalueiden lisäksi tunnistet voidaan vielä jakaa aktiivisiin ja passiivisiin. (atlasRFIDstore, n.d.-a.)

6.3.1 Tunnisteet

Passiiviset RFID-tunnisteet koostuvat antennista ja mikropiiristä, joka sisältää tunnisteiden tiedot. Niissä ei ole sisäistä virtalähdettä kuten aktiivisissa tunnisteeissa vaan niiden toiminta perustuu lukijalaitteen lähettämään elektromagneettiseen aaltoon, jonka energia herättää tunnisteiden mikropiirin ja palauttaa tunnisteiden tiedot lukijalle. (atlasRFIDstore, n.d.-a.)

Kuvassa 22 on esitetty esimerkkinä RFID-tulostimella tulostettavan tunnisteiden rakenne, jossa päällimmäisenä kerroksena tarraohjelmalla vapaasti muokattavasti oleva kirjoitusalue.



Kuva 22. Tarramaisen RFID-tunnisteiden rakenne (Express, n.d.)

Tarratunnisteet ovat yleensä tarkoitettu kertakäyttöisiksi, mutta tunnisteita on saatavilla monenlaisia ja osa niistä voidaan käyttää uudelleen. Jotkin tunnisteet myydään muovikuoren kanssa, jolloin ne voidaan liittää esimerkiksi avainnippuun helposti. RFID-tunnisteiden kanssa voidaan liimakiinnityksen lisäksi hyödyntää samoja kiinnitystapoja kuten RTLS-ratkaisussa eli ruuveja, magneetteja ja tunnisteiden kiinnittämistä pikapuristimiin.

6.3.2 Lukijalaitteet ja antennit

Lukijalaitteita on käsi­käyttöisiä ja kiinteästi asennettavia. Lisäksi on myös tietokoneeseen liitettäviä USB-lukijoita. Osa lukijamalleista kykenee pelkästään lukemaan mutta on myös malleja, joilla tunnisteen muistiin kirjoittaminen onnistuu. Käsi­käyttöisissä lukijoissa on yleensä Android-käyttöjärjestelmä. Kuvassa 23 näkyy Zebran MC3300-sarjan käsi­käyttöinen lukija.



Kuva 23. Zebran MC3300-sarjan käsi­käyttöinen lukija (Zebra, n.d.-b).

Kiinteät lukijat sijoitetaan lähelle paikkaa, jossa tunnisteen luku halutaan tapahtuvan. Niiden toimintasäde ja aluetta voidaan parantaa lisäantenneilla, jolloin lukija on mahdollista sijoittaa etäämmälle ja antennit tuoda lukualueen läheisyyteen.

Esimerkkinä luku­etäisyydestä voidaan Siemensin RF600-tuoteperheen oikealla lukijalaite, antenni sekä tunnisteyhdistelmällä saavuttaa noin kahdeksan metrin luku­etäisyys (Siemens, 2023b). Seuraavassa kuvassa 24 näkyy Siemensin RF680R-lukija, jossa havaittavissa myös neljä kappaletta ulkoisia antenniliitännöitä laitteen yläosassa.



Kuva 24. Siemensin RF680R-lukijalaite (Siemens, n.d.-a).

Siemensin tarjoamista laitteista fyysiseltä kooltaan pienimpiä lukijoita ovat anturimalliset kuten Siemens RF210R mutta niiden lukuetaisyydet ovat lyhyitä, noin 10mm joka riippuu osin myös käytetyistä tunnisteista. (Siemens, 2023b).

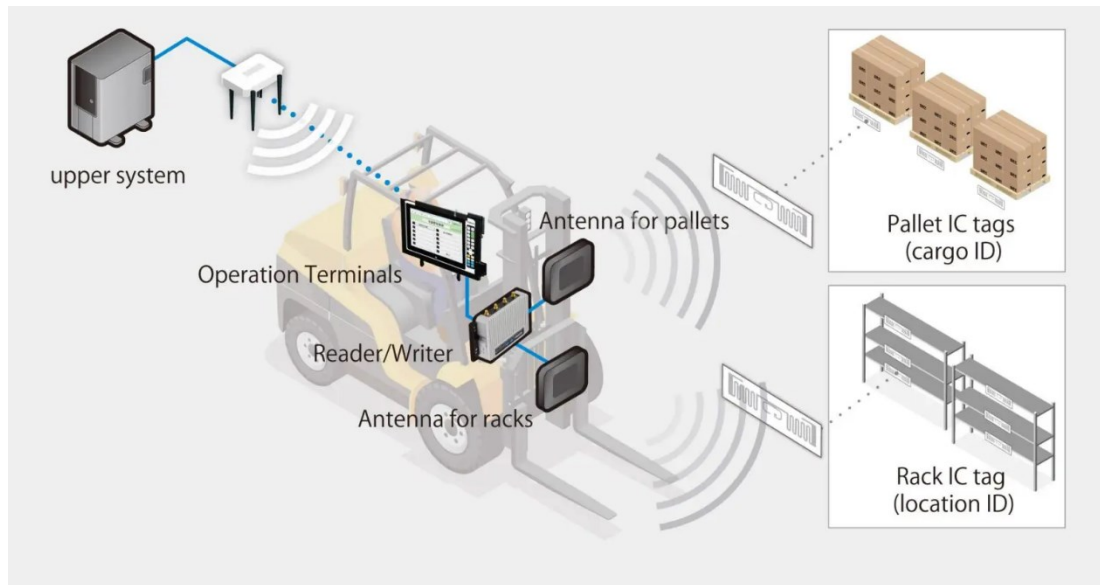


Kuva 25. Siemensin anturimallinen RF210R-lukija (Siemens, n.d.-e).

Lukijalaitteita on mahdollista myös asentaa liikkuviin koneisiin kuten trukkeihin. Trukkeihin voidaan asentaa lukijalaite, antenni sekä käyttöliittymä, jolla saadaan yhteys varastonhallinnan järjestelmään tai muuhun sovellukseen johon tietoja halutaan viedä.

Oikein sijoitetuilla trukkeihin asennetuilla laitteilla, RFID-tunnisteilla merkityillä varastopaikoilla ja tavaroihin liitetyillä tunnisteilla voidaan esimerkiksi lukea varastoon laitettavien tai sieltä otettavien tavaroiden tiedot ja määrä, sekä

yhdistää tapahtuma oikealle varastopaikalle. Kuvassa 26 on esitetty trukkiin asennettuja laitteita.



Kuva 26. Trukkiin liitetyt laitteistot tunnisteen ja varastopaikkojen lukua varten (MARS TOHKEN SOLUTION, n.d.)

Lattialla sijaitsevia varastopaikkoja voidaan tunnistaa ja merkitä hyödyntäen RFID-tunnisteita, jotka on esimerkiksi liitetty lattiaan kiinnitettävään metalliseen laattaan. Laattaan voidaan myös laittaa varastopaikan tunniste kirjaimin ja numeroin sekä viivakooditarralla. Viivakoodi sisältää varastopaikan tiedot, jolloin voidaan käyttää myös viivakoodinlukijaa apuna lukemaan varastopaikka esimerkiksi varastonhallinnan ohjelmistoon. Kuvassa 27 on lattiaan kiinnitettävä varastopaikkakilpi.



Kuva 27. Lattialle asennettava varastopaikkakilpi (ONE2ID, n.d.)

Pelkästään valmistettavan tuotteen paikannuksen näkökulmasta trukkilaitteistot ovat melko hintavia ja yrityksellä on useita trukkeja, jolloin suurin osa niistä pitäisi varustella laitteistoilla hyötyjen saavuttamiseksi.

Jos lukijalaitteessa ei ole integroitua antennia, täytyy siihen liittää ulkoinen antenni. Integroidulla antennilla varustetun lukijalaitteen lukuetaisyttä ja aluetta voidaan parantaa lisäantenneilla, jos se on liitäntöjen puolesta mahdollista. Kulkuaukoissa antenneja voidaan asentaa useampi aukon molemmin puolin, jolloin voidaan varmistua, että aukosta läpikulkevat tunnistet luetaan.

Kaikki lukijat, antennit ja tunnistet eivät toimi keskenään eri toimintataajuuksien takia, joten niiden yhteensopivuus tulee varmistaa laitteiden valmistajien tai tuotesivujen kautta.

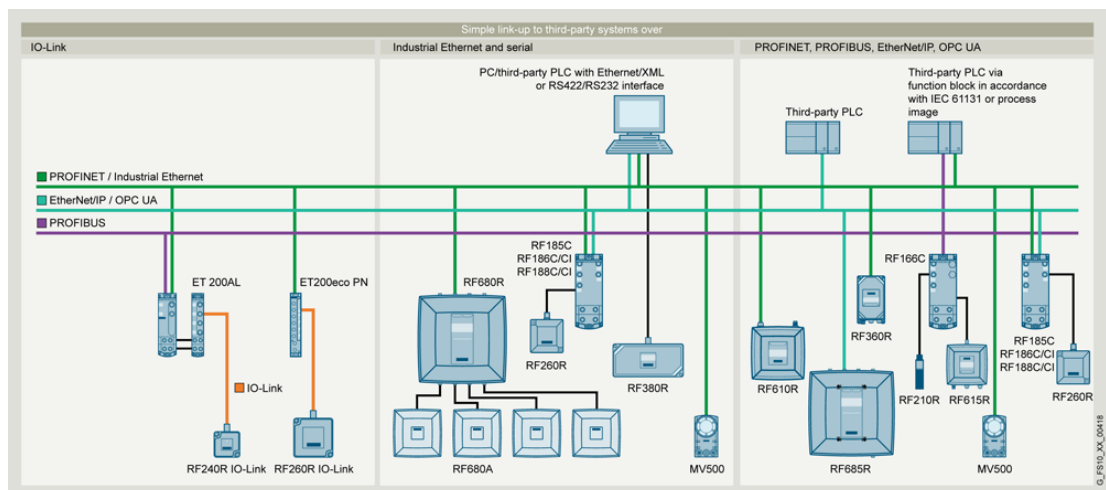
6.3.3 Ohjelmistot ja liitynnät

Lukijalaitteilla tunnistamista luetut tiedot täytyy viedä ylempiin järjestelmiin tallennusta ja käsittelyä varten. Ne voivat olla valmiita ohjelmistoja tai ratkaisukomponenttien toteuttamia käyttäjäryitykselle räätälöityä ratkaisuja.

Sijaintitiedon tallentamista varten pitäisi käsikäyttöistä lukijaa käyttäessä kirjata lukutilanteessa myös sijaintitieto lukijassa käytössä olevan sovelluksen kautta. Kiinteästi asennetun lukijan tapauksessa voidaan järjestelmään kirjata sijainniksi lukijan asennussijainti automaattisesti lukutapahtuman yhteydessä.

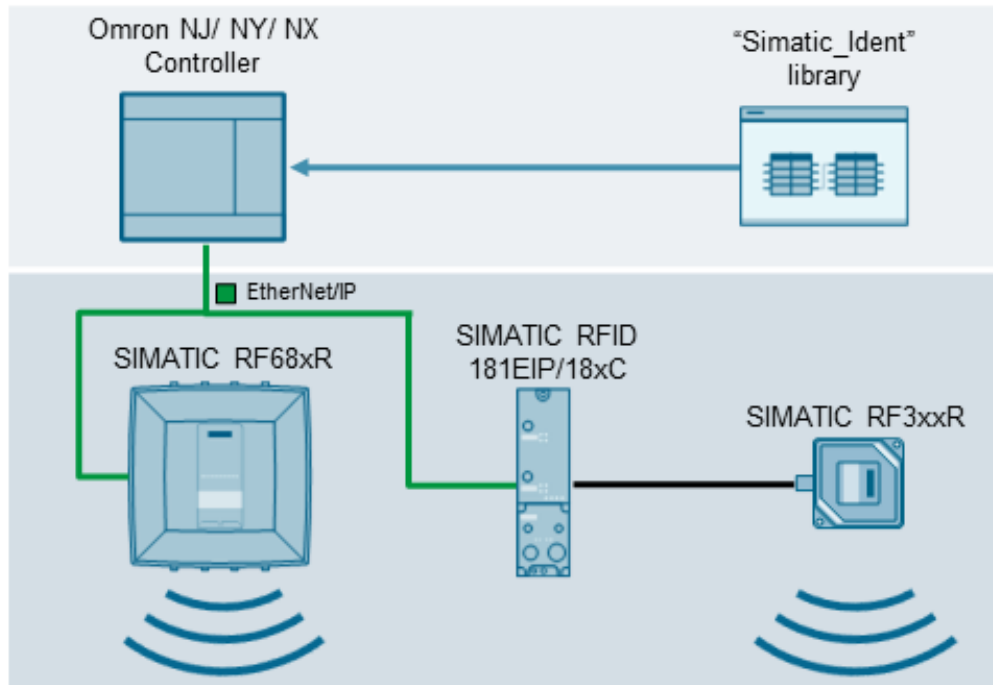
Alustavapaata OPC UA (Open Platform Communications Unified Architecture) -kommunikaatiostandardia tukevilla laitteilla on tietojen vieni helppoa suoraan ylemmän tason järjestelmiin kuten ohjelmoitaviin logiikoihin, pilvipalveluihin tai toiminnanohjausjärjestelmään (TURCK, n.d.)

Esimerkiksi Siemensin RF600-tuoteperheen lukijat tukevat OPC UA-kommunikaatiostandardia, jolloin niillä luettuja tietoja on mahdollista välittää eteenpäin helposti eri järjestelmiin. Kuvassa 28 on esitetty myös muita liityntätapoja eri järjestelmiin Siemensin tuoteperheiden komponenteilla.



Kuva 28. Esimerkkejä Siemensin RFID-laitteiden liitynnöistä kolmansien osapuolien järjestelmiin (Siemens, n.d.-b).

Siemensin RF300- ja RF600-sarjan lukijalaitteita on mahdollista käyttää myös esimerkiksi Omronin NJ-, NY- ja NX-sarjan ohjelmoitavien logiikoiden kanssa EtherNet/IP-protokollan kautta lataamalla Siemensin tukipalvelusta siihen tarkoitettut ohjelmakirjastot (Siemens, 2023a).



Kuva 29. Siemensin RF300- ja RF600-sarjan lukijalaitteiden liityntä Omronin ohjelmoitavaan logiikkaan (Siemens, 2023a).

6.3.4 RFID-tulostin ja tarraohjelmisto

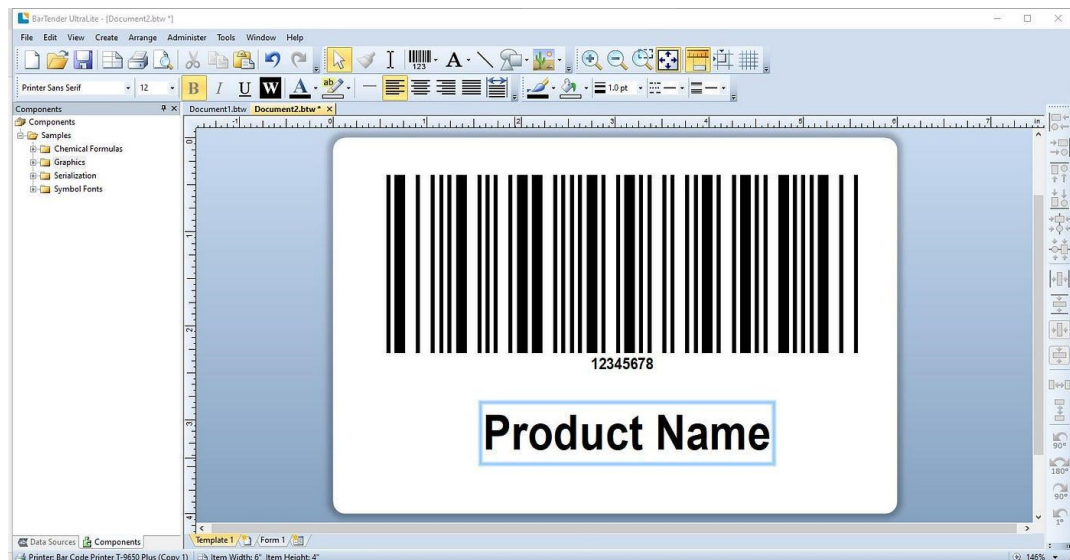


Kuva 30. Zebra ZT400-sarjan teollisuustulostin (Zebra, n.d.-a).

RFID-tunnistetarroja voidaan tulostaa käyttämällä siihen tarkoitettua tulostinta. Tulostimeen asetetaan rulla, jossa on tyhjiä tunnisteita. Käytetyllä tulostusohjelmalla rullan tunnisteisiin voidaan niiden kirjoitusalueelle liittää tekstiä, viivakoodeja tai kuvia sekä ohjelmassa määritellään myös mitä tunnisteeseen sähköiseen muistiin kirjoitetaan RFID-tekniologiaa tukevan kirjoituspään avulla.

Esimerkkinä BarTender-ohjelmisto tukee monia eri tulostinmerkkejä kuten Zebran tulostimia. Ohjelmalla voidaan määritellä mitä tietoa tarrojen kirjoitusalue ja tunnisteeseen muisti sisältää sekä tulostaa niitä. Ohjelmistossa on REST API-rajapinta, jolloin tunnisteisiin kirjoitettavia tietoja voidaan tuoda myös ulkoisista järjestelmistä (BarTender, n.d.)

Tunnisteista RFID-lukijalla luettavien tietojen lisäksi tarraan voidaan myös liittää tietoa viivakoodien sekä muiden kuten QR- ja Data Matrix -koodien muodossa. QR-koodit voidaan laittaa osoittamaan esimerkiksi verkko-osoitteeseen ja viivakoodeja käyttää apuna valmistuksen eri vaiheissa. Kuvassa 31 näkyy BarTender-ohjelmisto ja sen muokkausnäkö.



Kuva 31. BarTender-tarraohjelmiston muokkausnäky

RFID-tulostimia on myös saatavilla pienempinä akkutoimisina malleina joita on mahdollista kuljettaa mukana. Niiden käyttö tapahtuu tietokoneen tai puhelimen avulla. Tulostimilla voidaan myös tulostaa normaaleja tarroja ilman RFID-tunnisteita. (Zebra, n.d.-c.) Kuvassa 32 on Zebran akkutoimisia RFID-tulostimia.



Kuva 32. Zebran ZG511- ja ZQ521-tulostimet (Zebra, n.d.-c).

6.3.5 Yhteenveto

Pelkästään valmistettavan tuotteen paikannukseen RFID-tekniologiaan perustuvan järjestelmän hankinta ei ole paras vaihtoehto koska tuotteille ei ole määritelty varastopaikkoja vaan niitä säilytetään lattialla vierekkäin siellä missä on tilaa.

Jos RFID-tekniologiaa aletaan käyttämään laajemmin esimerkiksi yrityksen varaston puolella, tällöin voi olla myös järkevää pohtia valmistettavien lämmönsiirtimien lisäämistä mukaan toteutukseen.

RFID-tekniologiaa voitaisiin mahdollisesti hyödyntää käyttäen käsikäyttöisiä lukijalaitteita ja strategisesti valittuihin paikkoihin asennettuja kiinteitä lukijoita, joilla hallin alueita voitaisiin jakaa pienempiin osiin. Seurauksena voitaisiin kertoa millä alueella siirrin on, esimerkiksi onko se lähettämön vai vaipanvalmistuksen alueella. Lisäksi jos yrityksen sisälogistiikka hoitaisi pelkästään lämmönsiirtimien siirtelyä hallissa, voisivat he käyttää käsilukijaa apuna kuittaamaan jätösijainnit taustaohjelmistoon. Ratkaisu sopii paremmin kuitenkin varastonhallinnan sovelluksiin kuin valmistettavien tuotteiden paikannukseen.

Mikäli valmistusprosessi tapahtuisi liukuhihnalla, olisi ratkaisu varteenotettava vaihtoehto, koska tuotteet kulkisivat aina saman reitin. Matkanvarrelle olisi helppo asentaa lukijoita joka työpisteen yhteyteen, jolloin järjestelmään saataisiin tieto, milloin työvaihe on alkanut ja loppunut. Tarpeen vaatiessa voisi lukutapahtumia tehdä käsilukijalla myös työpisteiden välillä.

7 RATKAISUJEN VERTAILU

7.1 Soveltuvuus ympäristöön ja toimintavarmuus

Työssä käsitellyistä ratkaisuista jokainen on asennettavissa ja käyttöön otettavissa ympäristöön ja RTLS sekä RFID-ratkaisujen osalta kiinteästi asennettavista laitteista löytyy myös riittävät IP-luokitukset. Molempiin järjestelmiin tunnisteita on myös saatavilla monia erilaisia, eri ominaisuuksilla ja hinnat vaihtelevat edullisista malleista kalliimpiin riippuen esimerkiksi minkälaista kestoa niiltä vaaditaan ympäristön vaikutuksilta kuten lämmöltä. Molemmissa ratkaisuissa tunnistheet voisi olla kuitenkin järkevintä kiinnittää siirtimien mukana kulkeviin dokumentteihin, jolloin ei ole tarvetta suojautua ympäristön vaikutuksilta kuten lämmöltä.

Toimintavarmuudeltaan toiminnanohjausjärjestelmään lisättävä manuaalisesti päivitettävä sijaintitieto töiden kuittauksien yhteydessä on varmin järjestelmän käynnissäoloajan kannalta tarkasteltuna koska toiminnanohjausjärjestelmän ollessa alhaalla aiheutuu monia muitakin suurempia ongelmia kuin siirtimien paikannus. Ratkaisu saattaa kuitenkin aiheuttaa epävarmuutta tilanteessa, jossa siirrintä ei olekaan viety samaan paikkaan mitä järjestelmään on kirjattu, jolloin syntyy käyttäjistä johtuva epävarmuus.

RTLS- ja RFID-ratkaisujen osalta ei voida tarkastella toimintavarmuutta tämän opinnäytetyön yhteydessä koska ne lähtökohtaisesti vaativat enemmän konsultaatiota laitetoimittajilta ja pilottiprojekteja, joilla voidaan ylipäätään varmistaa toteutuksen toimivuus ympäristössä ennen laajempaa käyttöönottoa koska niissä erilaiset ympäristön ominaisuudet ja muuttujat kuten metallipinnat voivat haitata ja häiritä järjestelmien signaalien kulkua.

Laitetoimittajien tai ratkaisukumppanien järjestämät pilottiprojektit ja konsultaatiot ovat yleensä maksullisia lisäpalveluita.

7.2 Käyttöönottokustannukset ja ylläpito

Ratkaisujen tarkkoja hintoja ei voida tässä työssä käsitellä koska saadut tarjoukset ovat luottamuksellisia ja toisaalta hinnat vaihtelevat valitusta laitteistovalmistajasta ja järjestelmän laajuudesta sekä toteutuksesta. Voidaan kuitenkin tarkastella mitä asioita tulisi ottaa huomioon kustannuksia pohtiessa.

Manuaalisesti ylläpidettävän sijaintitiedon tapauksessa hinta koostuu yrityksen oman tai ulkopuolisen työntekijän työpanoksesta, jolla ominaisuus saadaan otettua käyttöön. Sijaintitietoa varten tehdyn sovelluksen tapauksessa hinta on todennäköisesti korkeampi mutta se olisi kuitenkin mahdollista asentaa yrityksen omille palvelimille, jolloin ei tarvitse maksaa erikseen palvelinkuluja. Ominaisuuden ylläpidettävyydestä ei sen käyttöönoton jälkeen pitäisi muodostua lisäkustannuksia, jos siihen ei tarvitse tehdä muokkauksia.

RTLS- ja RFID-ratkaisuissa hinta koostuu hankittavista laitteista ja ohjelmistoista sekä mahdollisesti niihin liittyvistä juoksevista lisenssikuluista. Kiinteät kulut liittyvät laitteisiin kuten palvelintietokoneeseen, vastaanottimiin tai lukijoihin ja tunnisteisiin. Ohjelmistot voivat olla kertakustanteisia mutta niihin voi myös liittyä vuosittaisia lisenssikuluja, jotka esimerkiksi riippuvat järjestelmässä käsiteltävien tunnisteiden määrästä. Tulee ottaa myös huomioon materiaali- ja työntekijäkulut, jotka liittyvät järjestelmien kaapelointiin sekä asennukseen.

Molempiin ratkaisuihin liittyviä loppukäyttäjäohjelmistoja voidaan räätälöidä pidemmälle sovelluskehittäjien toimesta hyödyntäen järjestelmien avoimia rajapintoja, jolloin ratkaisun hinta nousee. Mahdollista on myös hyödyntää laitevalmistajien ratkaisukumppaneita, joilta hankitaan räätälöity sovellusratkaisu käyttövalmiina pakettina koska laitteet eivät ole sidottuna valmistajan ohjelmistoon avoimien rajapintojen takia.

7.3 Vaikutus työntekoon, ajankäyttöön ja tuotannonhallintaan

Varsinkin reaaliaikaisella paikannusjärjestelmällä saadaan paljon tietoa liittyen valmistusprosessiin sijaintitiedon lisäksi. Riippuen järjestelmän peittoalueesta, voidaan kertoa tarkasti missä asioihin kiinnitetyt tunnisteet menevät millä hetkellä tahansa ja missä ne ovat aikaisemmin olleet. Tiedolla voidaan tarkastella asioita kuten valmistuksen läpimenoaikoja sekä esimerkiksi yksittäisessä sijainnissa kuten hitsauskopissa päivittäin käsiteltävien tuotteiden määrää.

RTLS- ja RFID-järjestelmissä tunnisteiden muistiin täytyy kirjoittaa yksilöiviä tietoja kuten siirrinnumero, joilla ne voidaan erotella toisistaan. Tämä pitäisi tehdä melko aikaisin valmistuksen alussa, jotta siirtimet saadaan paikannuksen piiriin ja valmistuksen loppupuolella ennen lähetystä tunniste pitäisi RTLS-ratkaisussa irrottaa uudelleenkäyttöä varten. Myös joitain RFID-tunnisteita voidaan käyttää uudelleen. Kertakäyttöisiä tunnisteita ei välttämättä ole tarpeen irrottaa, jos niistä ei muuten synny haittaa kiinnitettynä.

Jos hallissa sijaitsevasta toisen kerroksen toimistosta lähtee kävelemään hallin toiseen päätyyn, kuluu siihen jo useita minuutteja. Jos lisäksi pitää etsiä jokin tietty lämmönsiirrin ilman tarkkaa tietoa missä se on, voidaan todeta etsintätapahtumaan kuluvan jo huomattavasti aikaa. Jos sijaintitieto olisi tarkistettavissa etukäteen, voisi suoraan kävellä oikeaan paikkaan. Sijaintitietoa voisi yrityksen työntekijöiden lisäksi hyödyntää myös siirtimien rikkomattomia aineenkoetuksia tekevä ulkopuolinen toimija etsiessään tarkastettavia siirtimiä.

7.4 Skaalautuvuus

Manuaalisesti ylläpidettävä sijaintitieto toiminnanohjausjärjestelmässä tai sitä varten kehitetyssä sovelluksessa skaalautuu helposti. Ratkaisun skaalautuvuutta pohdittaessa ainoastaan sijainnit kuten hitsauskopit lisääntyvät. Taus-
taohjelmistossa eli toiminnanohjausjärjestelmässä tai erillisessä sovelluksessa pidetään koottua listaa sijainneista.

Sijainteja ei välttämättä edes tarvitse ylläpitää esimääriteltynä listana järjestelmässä, vaan sijainti voisi olla myös mahdollisesti työntekijän syöttämää vapaa-
muotoista tietoa, jolloin sijainti on vain työntekijän ilmoittama tieto. Esimääritellyllä listalla kuitenkin varmistetaan, että tieto on aina samankaltaisessa muodossa syötettynä järjestelmään ja tällöin sen jatkokäsittely tarvittaessa on helpompaa.

RTLS- ja RFID-ratkaisuja skaalatessa täytyy hankkia lisää laitteita, joilla uutta paikannusalueita katetaan tai olemassa olevan tarkkuutta parannetaan. Uudet tunnisteen on helposti hankittavissa käytettäväksi valitun ratkaisun piiriin liitettäviin kappaleisiin. Quupan järjestelmässä korostetaan sen skaalautuvuutta ja integrointia toisiin järjestelmiin (Quuppa, n.d.-b).

7.5 Helppokäyttöisyys

Ratkaisujen helppokäyttöisyyttä ilman aikaisempaa kokemuspohjaa ohjelmista ja laitteista on hankala arvioida mutta voidaan tarkastella mitä lisätöitä niistä syntyy tai minkälaisia vaatimuksia ne asettavat työntekijän osaamiselle.

Kaikkien käsiteltyjen ratkaisujen käyttöliittymiä on mahdollista kuitenkin muokata yrityksen tarpeisiin sopivaksi. RTLS- ja RFID-ratkaisujen tapauksessa tarpeelliset tiedot voidaan hakea avoimien rajapintojen kautta ja ympärille voidaan kehittää uusi käyttöliittymä, jos laitteiden valmistajien omat ohjelmistot ovat puutteellisia. Itse suunnitellulla käyttöliittymällä voidaan suoraan vaikuttaa helppokäyttöisyyteen.

RTLS- ja RFID-ratkaisuissa tulisi määritellä missä vaiheessa paikannus aloitetaan ja määritellä mihin tunnistet kiinnitetään, suoraan valmistettavaan tuotteeseen vai esimerkiksi sen dokumentteihin. Lisäksi tulisi laatia työohje, jossa käy selväksi miten käytettäväksi valitussa järjestelmässä tunnisteen muistiin kirjoitus onnistuu ja kenen vastuulla se on sekä miten yksittäinen tunniste voidaan hakea järjestelmästä. Työohjeen tulisi olla sellainen, että ohjeen perusteella järjestelmää osaa käyttää kuka vain.

7.6 Liitettävyyys muihin järjestelmiin

Kaikki työssä käsitellyt ratkaisut on mahdollista liittää muihin järjestelmiin kuten toiminnanohjausjärjestelmään.

Toiminnanohjausjärjestelmässä manuaalisesti ylläpidettävä sijaintieto syötetään jo lähtökohtaisesti suoraan oikeaan järjestelmään, sillä oletuksella että se halutaan viedä esitettäväksi toiminnanohjausjärjestelmään. Räätelöidyn sovelluksen tapauksessa tieto on myös vietävissä mihin tahansa järjestelmään, jos vastaanottava järjestelmä sitä vain tukee. Tiedonsiirtoa varten pitää sovellukseen tehdä rajapinta tai vaihtoehtoisesti hakea tietoa suoraan ohjelman käyttämästä tietokannasta.

Työssä käsitellyssä Quupan RTLS-ratkaisussa on REST API-rajapinta, jolla tietoa voidaan viedä ulkoisiin järjestelmiin sekä RFID-ratkaisujen tapauksessa laitteiden tukiessa esimerkiksi OPC UA-kommunikaatiostandardia on tietojen vienti ulkoisiin järjestelmiin helppoa. Molemmat ratkaisut ovat jo lähtökohdiltaan sellaisia, että tiedot on tarkoitettu jatkokäsiteltäväksi, jolloin ne voidaan viedä ylempiin järjestelmiin kuten varastonhallinnan ohjelmiin tai toiminnanohjausjärjestelmään.

8 RATKAISUEHDOTUS

Työssä tehdyn selvitystyön seurauksena ehdotan ensisijaisesti sijaintitiedon lisäämistä mahdollisuuksien mukaan nykyiseen toiminnanohjausjärjestelmään tai mahdolliseen uuteen järjestelmään. Tämä on käsitellyistä vaihtoehdoista kaikkein kevyin ratkaisu.

Jos halutaan tarkkaa ja reaaliaikaista sijaintitietoa sekä muita reaaliaikaisen paikannusjärjestelmän hyötyjä, on RTLS-ratkaisu hyvä vaihtoehto pohdittavaksi.

Selvityksen perusteella RFID-teknoologiaan pohjautuvaa järjestelmää ei kannata hankkia pelkästään valmistettavan tuotteen paikannukseen. Jos RFID-teknoologiaa aiotaan hyödyntää laajemmin yrityksen varaston ja logistiikan tarpeissa, voi olla mahdollista myös lisätä valmistettavat lämmönsiirtimet järjestelmän piiriin mutta tämä vaihtoehto on kokonaisuutena käsitellyistä ratkaisuista kaikkein monimutkaisin eikä sillä silti saavuteta sellaisenaan reaaliaikaista sijaintitietoa kuten RTLS-ratkaisulla.

RTLS- ja RFID-ratkaisujen tapauksessa järjestelmien toimivuus tulee kuitenkin vielä lisäksi varmistaa pilottiprojektin avulla.

9 YHTEENVETO

Työn aihe oli mielenkiintoinen ja selvitystä varten tehtävä kenttätyö tuotannossa valmistusvaiheiden käytännön asioiden sekä niiden asettamien rajoitteiden ja ongelmien osalta osoittautui odotettua isommaksi kuin alun perin ajatelin mutta toimi tärkeänä osana myöhempää ratkaisujen pohtimista ja käsitteilyä varten.

Yrityksessä pidempään töissä olleena sain myös selvitystyön kautta paljon uutta yksityiskohtaista tietoa tuotannon toimintatavoista, jotka eivät oman työnkuvan kautta olleet aikaisemmin tiedossa.

Työ pisti myös pohtimaan voisiko käsitellyjä ratkaisuja hyödyntää myös yrityksen muissa toiminnoissa kuten varastohallinnassa ja sisälogistiikan tehostamisessa.

Työn aiheeseen liittyvän ja löytyvän tiedon määrän takia työn kirjoittamisen aikana päätyi helposti kirjoittamaan ja etsimään tietoa hieman työn aiheen ohi mutta pääosin aiheessa pysyi hyvin. Jokaisesta työssä käsitellystä ratkaisu- vaihtoehdosta ja yksityiskohdasta olisi voinut kirjoittaa paljon syvällisemmin, jonka takia niiden tekninen puoli piti tiivistää ja rajata sopivaksi siten, että olennaisimmat asiat tuli käsiteltyä.

Työn aikana laitteistotoimittajiin otettiin myös yhteyttä ja keskusteltiin mahdollisista vaihtoehdoista. Vaikka yhteydenotot aloitettiin varhain työn alkuvaiheessa, kului joidenkin vastauksien saamisessa ja etätapaamisten sopimisessa yllättävän kauan. Jokaiseen yhteydenottoon ei tullut vastausta.

Lopputuloksena syntyi katsaus erilaisiin ratkaisuihin, joilla lämmönsiirtimien sijaintitietoa voitaisiin ylläpitää. Työ toimii esiselvityksenä mahdollisille jatkotoimenpiteille. Käsiteltyjen ratkaisujen hyödyntäminen ei pelkästään rajoitu lämmönsiirtimiin, vaan niitä on mahdollista soveltaa myös muihin asioihin.

LÄHTEET

atlasRFIDstore. (n.d.-a). The Beginner's Guide to How RFID Systems Work. Haettu 23.3.2025 osoitteesta <https://www.atlasrfidstore.com/rfid-resources/rfid-beginners-guide/>

Avesta Polarit Welding AB. (1995). Handbook for the pickling and cleaning of stainless steel.

BarTender. (n.d.). BarTender Software. Haettu 27.4.2025 osoitteesta <https://www.bartendersoftware.com/product/software>

ESSKA. (n.d.). [Tuotokuva liimapuristimesta]. Haettu 5.4.2025 osoitteesta <https://www.esska-fi.com/shop/Liiman-puristin-muovi-pituus-100-mm-225-mm-siirrettavat-leuat--943090131147-19720>

EUSPA. (15.1.2025). What is GNSS. Haettu 25.3.2025 osoitteesta <https://www.euspa.europa.eu/eu-space-programme/galileo/what-gnss>

Express. (n.d.). [Kuva tarramaisen RFID-tunnisteen rakennekerroksista]. Haettu 5.4.2025 osoitteesta <https://expresscorp.com/product/rfid-tags/standard-rfid-asset-tag/>

GPS. (n.d.-a). The Global Positioning System. Haettu 13.3.2025 osoitteesta <https://www.gps.gov/systems/gps/>

GPS. (n.d.-b). GPS Educational Poster. Haettu 13.3.2025 osoitteesta <https://www.gps.gov/multimedia/poster/>

GS1 Finland. (n.d.). GS1 Data Matrix. Haettu 7.6.2025 osoitteesta <https://gs1.fi/fi/standardit/tunnistamisen-standardit/gs1-datamatrix>

GS1. (n.d.). [Kuva GS1 Data Matrix-koodista]. Haettu 25.2.2025 osoitteesta <https://www.gs1.org/standards/barcodes/2d>

Inkinen, P., Manninen, R. & Tuohi, J. (2003). Momentti 2: Insinöörifysiikka. Otava.

IntraNav. (n.d.). INTRANAV Paperless Factory. Haettu 5.4.2025 osoitteesta <https://intranav.com/en/digital-solution-areas/intranav-paperless-factory/>

Jeffrey S. George. (2019). An Overview of Radiation Effects in Electronics. <https://doi.org/10.1063/1.5127719>

Kiwa. (n.d.). NDT-tarkastus eli rikkomaton aineenkoetus. Haettu 9.2.2025 osoitteesta <https://www.kiwa.com/fi/fi/palvelumme2/ndt-tarkastus-ja-teknologia-palvelut/ndt-tarkastus-eli-rikkomaton-aineenkoetus-ndt-non-destructive-testing/>

Maanmittauslaitos. (n.d.). Sisätilanavigointi. Haettu 10.3.2025 osoitteesta <https://www.maanmittauslaitos.fi/tutkimus/teematietoa/sisatilanavigointi>

MARS TOHKEN SOLUTION. (n.d.). UHF Fork System [Kuva]. Haettu 27.3.2025 osoitteesta https://www.mars-tohken.co.jp/en/rfid/products/rfid-package/uhf_fork/

Matsusada Precision. (2022). [Periaatekuva radiografisesta tarkastuksesta]. Haettu 19.3.2025 osoitteesta <https://www.matsusada.com/column/words-ndt.html>

ONE2ID. (n.d.). [Kuva lattialle asennettavasta varastopaikkakilvestä]. Haettu 12.4.2025 osoitteesta <https://www.one2id.com/en/warehouse-floor-identification/>

Quuppa. (2021). The Ultimate RTLS Buyers Guide for Industry 4.0. Haettu 9.3.2025 osoitteesta <https://www.quuppa.com/segments/industry-4-0/>

Quuppa. (n.d.-a). About Us. Haettu 3.4.2025 osoitteesta <https://www.quuppa.com/company/about-us/>

Quuppa. (n.d.-b). Quuppa Intelligent Locating System. Haettu 3.4.2025 osoitteesta <https://www.quuppa.com/offering/quuppa-intelligent-locating-system/>

Quuppa. (n.d.-c). [Tuotekuva "PDi Digital sepioo D2.6 B"-tunnisteesta]. Haettu 5.4.2025 osoitteesta <https://www.quuppa.com/offering/tagsdevices/quuppa-tested-devices/pdi-digital-sepioo-d2-6-b/>

Quuppa. (n.d.-d). Quuppa Positioning Engine. Haettu 3.4.2025 osoitteesta <https://www.quuppa.com/offering/software-suite/quuppa-positioning-engine/>

Quuppa. (n.d.-e). Easy Deployment. Haettu 3.4.2025 osoitteesta <https://www.quuppa.com/offering/easy-deployment/>

Quuppa. (n.d.-f). Quuppa Site Planner. Haettu 3.4.2025 osoitteesta <https://www.quuppa.com/offering/software-suite/quuppa-site-planner/>

Quuppa. (n.d.-g). Quuppa Rules Engine. Haettu 3.4.2025 osoitteesta <https://www.quuppa.com/offering/software-suite/quuppa-rules-engine/>

Quuppa. (n.d.-h). Locators. Haettu 3.4.2025 osoitteesta <https://www.quuppa.com/offering/locators/>

Quuppa. (n.d.-i). Quuppa QT3-1 Tag. Haettu 5.4.2025 osoitteesta <https://www.quuppa.com/offering/tagsdevices/quuppa-approved-tags/quuppa-qt3-1-tag/>

Quuppa. (n.d.-j). Edge Devices. Haettu 20.3.2025 osoitteesta <https://www.quuppa.com/offering/edge-devices/>

Quuppa. (n.d.-k). [Kuva satelliittilokaattoreiden yhdistymisestä johdotettuun lokaattoriin hyödyntäen Q-link-ominaisuutta]. Haettu 15.3.2025 osoitteesta https://www.quuppa.com/documentation/QSP/topics/q_link.html

Sewio Networks. (n.d.). [Kuva lämpökartasta Sewio RLTS-järjestelmässä]. Haettu 5.4.2025 osoitteesta <https://www.sewio.net/rtls-studio-sw/>

Siemens. (2023a). Connecting the SIMATIC RF300 and RF600 to OMRON controllers [Kuva]. Haettu 5.4.2025 osoitteesta <https://support.industry.siemens.com/cs/document/109757881/connecting-the-simatic-rf300-and-rf600-to-omron-controllers?dti=0&lc=en-US>

Siemens. (2023b). SIMATIC IDENT Configuration Guide. Haettu 3.4.2025 osoitteesta <https://support.industry.siemens.com/cs/document/67384964/simatic-ident-configuration-guide?dti=0&lc=en-FI>

Siemens. (n.d.-a). [Tuotokuva Siemens SIMATIC RF680R-lukijalaitteesta]. Haettu 5.4.2025 osoitteesta <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Product/6GT2811-6AA10-0AA0>

Siemens. (n.d.-b). RFID - Connection to third-party systems [Kuva]. Haettu 5.4.2025 osoitteesta <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Products/7029999#>

Siemens. (n.d.-e). [Tuotokuva Siemens RF210R-lukijasta]. Haettu 8.4.2025 osoitteesta <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Product/6GT2821-1AC10>

Tukes. (n.d.). Räjähdyksvaaralliset tilat. Haettu 25.2.2025 osoitteesta <https://tukes.fi/teollisuus/rajahdysvaaralliset-tilat>

TURCK. (n.d.). Topics & technologies – RFID. Haettu 6.4.2025 osoitteesta <https://www.turck.de/en/rfid-36706.php>

Vahterus Oy. (n.d.-a). Yritys. Haettu 6.2.2025 osoitteesta <https://vahterus.com/fi/company/>

Vahterus Oy. (n.d.-b). [Räjäytyskuva Vahteruksen levylämmönsiirtimestä]. Haettu 6.2.2025 osoitteesta <https://vahterus.com/virtual/products/fully-welded>

Vahterus Oy. (n.d.-c). PSHE Construction. Haettu 25.2.2025 osoitteesta <https://vahterus.com/technology/pshe-construction/>

Vahterus Oy. (n.d.-d). [Kuva Vahteruksen levylämmönsiirtimen sisäisistä virtauksista]. Haettu 25.2.2025 osoitteesta <https://vahterus.com/applications/liquid-heaters-and-coolers/>

Vahterus Oy. (n.d.-e). [Kuva Vahteruksen valmistamasta isosta lämmönsiirtimestä]. Haettu 11.4.2025 osoitteesta <https://vahterus.com/technology/customised-pshe-solution/>

Visma. (n.d.). Visma LTR integraatio. Haettu 25.2.2025 osoitteesta <https://vismal7.fi/integraatiot/visma-ltr/>

Zebra. (n.d.-a). [Tuotokuva Zebran ZT400-sarjan teollisuustulostimesta]. Haettu 5.4.2025 osoitteesta <https://www.zebra.com/us/en/products/printers/industrial/zt400-series.html>

Zebra. (n.d.-b). [Tuotokuva Zebran MC3300-sarjan käsikäyttöisestä lukijasta]. Haettu 5.4.2025 osoitteesta <https://www.zebra.com/us/en/products/rfid/rfid-handhelds/mc3300-series.html>

Zebra. (n.d.-c). ZQ511/ZQ521 RFID Mobile Printers. Haettu 7.4.2025 osoitteesta <https://www.zebra.com/us/en/products/spec-sheets/printers/mobile/zq511-zq521-rfid.html>