

Salomo Karppinen

LAAJENNETTU TODELLISUUS TUO- TANNON LAYOUT- JA TYÖPISTESUUN- NITTELUSSA

Kandidaatintyö
Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta
Huhtikuu 2023

TIIVISTELMÄ

Salomo Karppinen: Laajennettu todellisuus tuotannon layout- ja työpistesuunnittelussa
Tampereen yliopisto
Teknisten tieteiden kandidaattiohjelma
Kandidaatintyö
Huhtikuu 2023

Tuotannon layout-suunnittelu on yrityksille hyvin kiinnostavaa, koska toimivan layoutin on todettu vähentävän kustannuksia merkittävästi. Layout-suunnittelu on monimutkainen prosessi ja sitä tehdään nykyään usein tehdassimulaatio-ohjelmistojen avulla. Nämä ohjelmistot ottavat heikosti kantaa hienosuunnittelun eli työpistesuunnittelun haasteisiin, kuten ergonomiaan. Ihmisten terveyden ja turvallisuuden tutkiminen virtuaalitehtaissa on myös haastavaa ihmisen liikkeen mallintamisen vajavaisuuden vuoksi. Laajennetusta todellisuudesta on löydetty mahdollisia ratkaisuja näihin ongelmiin. Työn tavoitteen oli selvittää, miten laajennettua todellisuutta voidaan hyödyntää ja kehittää tuotannon layout- ja työpistesuunnittelussa. Työ toteutettiin kirjallisuuskatsauksena hyödyntäen vertaisarvioituja tieteellisiä artikkeleita. Työ ei ota kantaa kaupallisiin ratkaisuihin.

Laajennettu todellisuus (XR, engl. extended reality) on kattotermi virtuaalidodellisuuden kaikille muodoille, mitä ovat virtuaalidodellisuus (VR, engl. virtual reality), lisätty todellisuus (AR, engl. augmented reality) ja yhdistetty todellisuus (MR, engl. mixed reality). Laajennetulle todellisuudelle on löydetty viime vuosina paljon käyttökohteita teollisuudessa monilla eri aloilla, kuten tehdastyöntekijöiden koulutuksessa.

Laajennettua todellisuutta voidaan hyödyntää layout-suunnittelun monissa eri vaiheissa. Suunnitteluvaiheessa suunnittelijat voivat luoda virtuaalimaailmojen avulla monenlaisia kokeita parhaan layoutin löytämiseksi. Laajennetulla todellisuudella voidaan luoda parempia simulaatioita ihmisistä ja niiden toiminnoista. Tämä mahdollistaa tarkempaa hienosuunnittelua jo suunnittelun alkuvaiheilla, kuten tarkan ergonomia-analyysin. Laajennetulla todellisuudella voidaan myös tutkia olemassa olevia layoutteja ja työpisteitä hienosäätäen niitä optimaaliseksi.

Työssä huomattiin laajennetun todellisuuden olevan potentiaalinen muttei valmis teknologia tuotannon layout- ja työpistesuunnitteluun. Vaikka laajennetusta todellisuudesta on selkeitä hyötyjä suunnittelussa, ei teknologiaa nykyisellään käytetä kovin usein. Tällä hetkellä virtuaalinen mallintaminen on hidasta, vaikka joitakin auttavia teknologioita kuten 3D-skannausta kehitetään jatkuvasti. Virtuaaliesineiden kanssa vuorovaikuttaminen ei usein ole luonnollista ja immersio on koettu puutteelliseksi. AR- ja MR-kokeiluissa todellisten ja virtuaalisten esineiden yhdisteleminen on osoittautunut vaikeaksi ja epäimmersiiviseksi. Valmiit työtavat ja ohjelmistot myös puuttuvat, mikä tekee kokeiluista työläitä ja hitaita.

Laajennettua todellisuutta kehitetään ja tutkitaan paljon tällä hetkellä. On täten todennäköistä, että edellä mainittuihin ongelmiin saadaan ratkaisuja tulevaisuudessa. Tuotannon layoutin optimointi laajennetun todellisuuden avulla on aihe, mitä ei juurikaan ole toteutettu, mutta on havaittu olevan mahdollinen työtapa. Tästä aiheesta olisi hyvä tehdä tutkimuksia, jotta layout-suunnittelua saadaan parannettua.

Avainsanat: Layout-suunnittelu, työpistesuunnittelu, laajennettu todellisuus, virtuaalitehdas

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
2. TUOTANNON LAYOUT-SUUNNITTELU	2
2.1 Karkea- ja työpistesuunnittelu	3
2.2 Tietokoneavusteinen layout-suunnittelu	4
3. LAAJENNETTU TODELLISUUS	8
4. LAAJENNETUN TODELLISUUDEN KÄYTTÖ TUOTANNON LAYOUT- JA TYÖPISTESUUNNITTELUSSA	11
4.1 Suunnittelukäyttö	11
4.2 Varmistuskäyttö ja hienosäädön mahdollisuudet	13
5. LAAJENNETUN TODELLISUUDEN RAJOITTEET JA TULEVAISUUS LAYOUT- JA TYÖPISTESUUNNITTELUSSA	15
6. YHTEENVETO	18
LÄHTEET	20

LYHENTEET JA MERKINNÄT

2D	engl. two dimensional, kaksiulotteinen
3D	engl. three dimensional, kolmiulotteinen
AR	engl. augmented reality, lisätty todellisuus
CAD	engl. Computer Aided Design, tietokoneavusteinen suunnittelu
CAAP	engl. Computer Aided Assembly Planning, tietokoneavusteinen kokonpanosuunnittelu
HMD	engl. Head mounted display, virtuaalitodellisuuslasit
MR	engl. mixed reality, yhdistetty todellisuus
SAR	engl. spatial augmented reality, Projektiopohjainen lisätty todellisuus
VR	engl. virtual reality, virtuaalitodellisuus
VLP	engl. virtual layout planning, virtuaalinen layout-suunnittelu
XR	engl. extended reality, laajennettu todellisuus

1. JOHDANTO

Laajennetun todellisuuden yleistymisen ja teknologian halventuminen on tuonut teknologialle uusia teollisuuden käyttökohteita. Tuotannon layout-suunnittelu on yksi teollisuuden osapuoli, missä on onnistuttu hyödyntämään virtuaalitodellisuutta. Laajennettua todellisuutta voidaan hyödyntää layout-suunnittelussa monilla eri osa-alueilla ja uusia menetelmiä keksitään jatkuvasti. Perinteisessä layout-suunnittelussa on ollut vaikeaa tutkia esimerkiksi ergonomiaan ja ihmisten virheisiin liittyviä osia. Laajennettua todellisuutta hyödyntäessä näiden osa-alueiden tutkiminen jo suunnitteluvaiheessa on helpompaa, minkä vuoksi teknologia kiinnostaa yrityksiä. (Gong et al. 2019) Tässä työssä tutkitaan laajennetun todellisuuden mahdollisuuksia ja käyttökohteita tuotannon layout- ja työpistesuunnittelussa. Työ ei ole rajattu mihinkään tiettyyn teollisuuden alaan vaan käsittelee kaikenlaisia tuotantolinjoja.

Tutkimuskysymyksinä työssä toimivat:

1. Miten laajennettua todellisuutta voidaan hyödyntää tuotannon layout- ja työpistesuunnittelussa?
2. Miten laajennettua todellisuutta voidaan hyödyntää olemassa olevien tuotantolinjojen optimoinnissa ja kehittämisessä?
3. Miten laajennettua todellisuutta voidaan kehittää tulevaisuudessa paremmin layout- ja työpistesuunnittelun tarpeisiin?

Kirjallisuuskatsaus on tutkimusmetodi, jossa tutkitaan jo tehtyä tutkimusta. Kirjallisuuskatsaus voidaan jakaa kolmeen päätyyppiin: kuvailevaan, systemaattiseen ja meta-analyysiin. (Salminen, 2011) Tämä työ toteutetaan kuvailevana kirjallisuuskatsauksena, jossa hyödynnetään pääosin 2015 tai uudempia vertaisarvioituja lähteitä.

Tässä työssä kerrotaan ensin teoriaosuudessa luvussa 2 yleisesti layout-suunnittelusta, miten sitä toteutetaan nykyään sekä miten tehtaita mallinnetaan ja simuloidaan virtuaalisesti. Tämän jälkeen käsitellään laajennetun todellisuuden nykytilaan lyhyesti luvussa 3, jonka jälkeen käsitellään laajennettua todellisuutta layout- ja työpistesuunnittelussa luvussa 4. Tässä luvussa kerrotaan, miten teknologiaa voidaan hyödyntää suunnittelun eri vaiheissa. Luvussa 5 pohditaan laajennetun todellisuuden tulevaisuutta ja kehitystä tuotannon layout- ja työpistesuunnittelussa. Luku 6 on yhteenveto, missä vastataan tutkimuskysymyksiin.

2. TUOTANNON LAYOUT-SUUNNITTELU

Tuotantoprosessin suunnittelu on kriittinen vaihe tuotesuunnittelua, koska se aiheuttaa usein suurimman osan tuotteen kustannuksista (Pérez-Gosende et al. 2021). Kilpailulliset markkinat vaativat korkeaa laatua, nopeaa tuotantoa ja matalaa hintaa (Plinta & Kłapoczek, 2021). Tämän takia tuotantoprosessin suunnittelu on tärkeää yrityksille. Hyvin suunniteltu tuotantoprosessi voi parantaa tehokkuutta, tuotteen laatua, laskea tuotteen hintaa sekä nopeuttaa tuotteen markkinoille siirtymisaikaa (Seth et al. 2011). Tuotannon layout-suunnittelu on yrityksille tärkeää, koska se voi laskea tuotannon kustannuksia merkittävästi. Suunnittelu on monialainen prosessi, jossa tulee täyttyä sekä määrälliset että laadulliset vaatimukset. (Gong et al. 2019) Sitä pidetään yhtenä tärkeimpänä suunnittelupäätöksistä yrityksen operationaalisessa strategiassa. Layout-suunnittelu on haastavaa, koska suunnitteluprosessi on monimutkainen ja iteratiivinen. Optimaalisen layoutin löytämiseen ei ole ratkaisualgoritmeja, joista saisi täydellisiä ratkaisuja kohtuullisessa ajassa. (Pérez-Gosende et al. 2021)

Tuotantoa suunnitellessa tulee ottaa monia asioita huomioon. Tärkeimmät valintakriteerit uutta layoutia suunnitellessa ovat kuljetusten minimointi, materiaalivirtaukset, sopivat yhteydet ulkoisten logistiikkaketjujen välillä, turvallisuus, joustavuus ja mahdollisuudet tulevaisuuden muutoksille tuotannossa. (Plinta & Kłapoczek, 2021) Tehokkaassa tuotannon layout-suunnittelussa on varmistettava, että tuotannon aikataulut pitävät lyhyellä sekä pitkällä aikavälillä kulujen pysyessä matalina. Samanaikaisesti tilankäytön tulee olla asianmukaista, työturvallisuus työntekijöille tulee olla huomioituna vaaditulla tasolla sekä varmistaa, että layoutissa on joustavuutta tulevaisuuden muutoksille. Tehottomat tuotannon layoutit voivat taas vuorostaan aiheuttaa pullonkauloja ja ruuhkia tuotantoon sekä huonoa tilankäyttöä. Nämä ilmiöt voivat aiheuttaa työntekijöille ahdistusta ja työtapaturmia. Lisäksi ne voivat vaikeuttaa toiminnan valvontaa sekä henkilöstöhallintoa. (Pérez-Gosende et al. 2021)

Peron et al. (2020) mukaan layout-suunnittelu on viisivaiheinen prosessi. Ensimmäisessä vaiheessa kerätään dataa kuten: mitä tuotetta tehdään, kuinka paljon, minkä reitin tuote kulkee valmistuksessa, mitä tukitoimia kuten koneiden huoltopisteitä tuotanto vaatii ja kuinka nopeasti tuotetta tehdään. Toisessa vaiheessa mietitään materiaalivirtoja ja miten prosessien väliset suhteet toimivat. Vaihetta voidaan visualisoida erilaisilla kaavioilla, kuten prosessikaavioilla. Kolmannessa ratkaistaan kaikki tilaan liittyvät ongelmat ja sijoitetaan tarvittavat osastot. Neljännessä vaiheessa suoritetaan mahdollisia muutoksia ja hienosäätöjä layouttiin sekä luodaan vaihtoehtoisia layouteja. Viidennessä vaiheessa

tarkastetaan ja arvioidaan layoutin toiminta. (Peron et al. 2020) Tämä on yksi tapa jaotella layoutin suunnitteluprosessi, mutta kaikissa layout-ongelmissa tutkitaan näitä samoja asioita (Pérez-Gosende et al. 2021).

Vaikka tuotannon layout-suunnittelua on tutkittu laajasti tieteellisesti, tutkimukset sen monilta osa-alueilta ovat vielä alkuvaiheessaan. Tämä johtuu siitä, että fyysiset layout-vaatimukset muuttuvat jatkuvasti teknologian muutosten mukana. Neljännen teollisen vallankumouksen oletetaan tuovan lisää haasteita ja näkökulmia layout-suunnitteluun kyberfyysisten järjestelmien yleistymisen, markkinoiden kasvamisen sekä joustavampien tuotantojärjestelmien kehittymisen vuoksi. (Pérez-Gosende et al. 2021)

Tuotantojärjestelmien suunnittelu tehdään nykyään usein hyödyntäen CAD-ohjelmistoja (engl. computer aided design, tietokoneavusteinen suunnittelu) kaksiulotteista näyttöpäätettä käyttäen. Monimutkaisissa kolmiulotteisissa ongelmissa kuten tilan optimoinnissa, liikkuvien kappaleiden määrittämisessä, ergonomiassa ja turvallisuudessa voi olla vaikeaa kaksiulotteisilla menetelmillä. Tämän vuoksi tuotantojärjestelmiä suunnitellessa nämä edellä mainitut ongelmat huomataan vasta hyvin myöhään suunnittelussa ja toteutuksessa, jolloin näiden muuttaminen on kallista ja aikaa vievää. (Dammacco et al. 2022)

2.1 Karkea- ja työpistesuunnittelu

Layout-suunnittelun prosessi voidaan jakaa osasto-, kone- ja työpistetasoille. Osastotason layout-suunnittelussa keskitytään osastojen kokoon, sijaintiin ja muotoon, kun kone- ja työpistetasoilla keskitytään tarkemmin jokaisen osan sijoitukseen, kuten esimerkiksi työkalujen sijaintiin. Osasto- ja konetason suunnittelusta voidaan puhua karkeasuunnitteluna, kun työpisteidensuunnittelun katsotaan olevan hienosuunnittelua. Hienolayout-suunnittelusta käytetään myös termiä työpistesuunnittelu. (Peron et al. 2020) Osastotason tilavaatimusten optimisoinnin tärkeimpiin kriteereihin kuuluvat materiaalivirtaukset, logistiikkaketjujen sopiva liittäminen, joustavuus muutoksiin, vaaditun tilan, tuotantoyksien, siirtelyiden ja varastojen minimointi sekä työntekijöiden turvallisuus. (Plinta & Kłap-tocz, 2021)

Karkeassa layout-suunnittelussa perehdytään paljon mitattaviin asioihin, kuten kuljettuun matkaan tai läpimenoaikaan, joita voidaan matemaattisesti mallintaa. Nämä mallit ovat tehokkaita tuotannon yleiseen layout suunnitteluun. (Gong et al. 2019; Pérez-Gosende et al. 2021) Nykyiset layout-suunnittelun työkalut ja menetelmät on todettu olevan toimivia karkeaan layout-suunnitteluun, jossa luodaan optimaalinen ratkaisu hyödyntäen mitattavia suureita, kuten kuljettua matkaa ja aikaa. (Gong et al. 2019)

Nykyiset suunnittelun työkalut soveltuvat huonosti hienosuunnitteluun, missä turvallisuus, ergonomia ja käyttäjien mieltymykset tulee ottaa huomioon suunnitteluprosessissa. Monet aiheeseen liittyvät tutkimukset olettavat myös käytettävän tilan olevan täysin avoin layout-suunnittelulle, mikä todellisissa tehtaissa ei usein ole mahdollista. (Gong et al. 2019)

Ottamalla terveyteen ja turvallisuuteen liittyvät toimenpiteet huomioon jo tuotannon layout-suunnittelun alkuvaiheessa yritykset voivat välttää onnettomuuksia, vähentää ihmisten luomia laatuhaittoja, vähentää ihmisten kokemia terveyshaittoja esimerkiksi melun vuoksi sekä välttää ympäristön tuomia haittoja, kuten suurta lämpötilaa. Suunnittellessa tuotannon layoutia on hyvä välttää teollisuuden riskejä ihmisille laajassa merkityksessä. Näitä riskejä ovat esimerkiksi liikenne-, luotettavuus-, laatu-, turvallisuus- ja ympäristöriskit. Riskit voivat tuoda henkilövahinkoja sekä yritykselle lisäkuluja. (Al-Zubaidi et al. 2021) Ihmisen ja koneen väliset käyttöliittymät olisi hyvä määrittää suunnittelun alkuvaiheessa, sillä tässä kohtaa suunnittelua on helpoin toteuttaa muutoksia ja parannuksia. Ergonomiset arvioinnit tehdään kuitenkin usein vasta fyysisen prototyypin valmistamisen jälkeen. Tässä kohtaa muutoksia harvoin tehdään kustannussyistä, mikä johtaa ergonomisten ja ihmisten käyttäytymiseen liittyvien ongelmien päätyvän lopulliseen ratkaisuun. (Guo et al. 2022) Näistä syistä virtuaalinen layout-suunnittelu (VLP engl. virtual layout planning) on herättänyt kiinnostusta tutkijoissa ja yrityksissä, koska se mahdollistaa paremman joustavuuden suunnittelussa (Gong et al. 2019).

2.2 Tietokoneavusteinen layout-suunnittelu

Neljännän teollisen vallankumouksen eli Industry 4.0:n yksi päästrategioista on älykäs tuotanto, jossa ideana on luoda fyysisen järjestelmän rinnalle digitaalinen versio eli virtuaalinen tehdas. (Guo et al. 2022; Plinta & Kłapoczek, 2021) Virtuaalitehdasta voidaan kuvailla interaktiivisena 3D-ympäristönä, missä digitaalisia teknologioita käytetään mallintamiseen, viestintään, simulointiin ja valmistusprosessin toimintaan. Tämän kaltainen virtuaaliympäristö mahdollistaa johtajien ja suunnittelijoiden suunnitella, konfiguroida ja valvoa tuotantojärjestelmää. (Shamsuzzoha et al. 2021) Virtuaalitehtaiden simulointi mahdollistaa tuotteiden ja tuotantoprosessien visualisoinnin hyödyntäen virtuaalisia malleja oikeista kappaleista (Plinta & Kłapoczek, 2021).

Layout-suunnittelun tavoitteiden toteuttamiseen tarvitaan dataa, jonka jälkeen suunnitteluun ideaalinen layout, toteutetaan mahdollisten rajoitusten määrittely sekä luodaan visualisointeja lopullisesta ratkaisusta. Virtuaalitehtaassa voidaan suorittaa nämä vaiheet luomalla simulointeja. Tarvittavaa dataa saadaan kerättyä virtuaalitehtaasta luomalla ob-

jekteja virtuaalimaailmaan ja analysoimalla niitä. Ideaalinen layout voidaan luoda virtuaalisesti hyödyntämällä erilaisia analytiikkatyökaluja, kuten läpivientiajan tutkimista. Lopullinen virtuaalitehdas toimii suoraan visuaalisointina lopullisesta ratkaisusta. (Plinta & Kłaptocz, 2021) 3D-layout mallinnuksessa eri sidosryhmät voivat helposti kommunikoida muutoksia ja kehitysehdotuksia, koska se mahdollistaa muutosten ymmärtämisen paremmin kuin 2D-mallit (Nafors et al. 2017).

Layout-suunnittelu virtuaalisessa ympäristössä koostuu Plinta & Kłaptocz (2021) mukaan seuraavista kohdista:

1. Virtuaalisten kappaleiden valmistelu
2. Tuotantojärjestelmän valmistelu
3. Layoutin optimointi analyttisillä työkaluilla
4. Tuotantojärjestelmän visualisointi

Tuloksena on todenmukainen layout, missä otetaan huomioon kaikki olemassa olevat rajoitteet, kuten tila. Virtuaaliset kappaleet voidaan valmistella olemassa olevista CAD-malleista tai 3D-skannausta hyödyntämällä uusia luomalla. (Plinta & Kłaptocz, 2021)

Virtuaalisia tehtaita on hyödynnetty laajasti tuotantojen käyttövaiheessa visualisoimaan tuotantoa, mutta sen käyttö suunnitteluvaiheessa on vielä rajattua. Tämä johtuu puutteellisista tavoista ja työkaluista luoda virtuaalitehtaita suunnitteluvaiheessa. Virtuaalitehtaiden on kuitenkin todettu vähentävän tuotannon suunnitteluun menevää aikaa, vaikka menetelmä ei ole laajasti käytössä tällä hetkellä. (Guo et al. 2022)

Yleinen tapa layout-suunnitteluun virtuaalisesti on hyödyntää 2D-CAD-ohjelmistoja, olemassa olevalla tehtaan datalla. Tämänkaltaisessa työskentelyssä datassa esiintyy usein virheitä mittausvirheiden ja dokumentoimattomien muutosten vuoksi. Tämän vuoksi 2D-mallina luodut layoutit voivat tuottaa ongelmia niitä toteuttaessa. 2D-mallit eivät myöskään tarjoa selkeitä visualisointeja lopullisesta layoutista eikä ota huomioon monimutkaisia tilankäytön ongelmia esimerkiksi robottien kolmiulotteisia liikeratoja. Täten tarkalle avaruusdatalle on selkeä tarve virtuaalisessa layout-suunnittelussa. (Nafors et al. 2017)

Virtuaalitehtaiden teossa tulee varmistaa, että avaruudellinen data tehtaasta on geometrisesti tarkka ja ajan tasalla. 3D-skannaus on nopeasti kehittyvä teknologia, jonka avulla saadaan kerättyä geometrista- ja mittadataa nopeasti ja tarkasti. Se on aktiivinen, kontaktiton tilanmittaus teknologia, missä mittaukset tehdään laser-valolla mitaten sen heijastusta mitattavista kappaleista. (Nafors et al. 2017) 3D-skannaus muodostaa pistepar-

via, mitkä voidaan käsitellä CAD-dataksi (Plinta & Kłaptocz, 2021). 3D-laser skannaustulokset voidaan yhdistää 3D-CAD mallien kanssa todenmukaisiksi 3D-layout malleiksi (Nafors et al. 2017).

Haasteena tässä toimintatavassa on työskennellä tehokkaasti ja ottaa huomioon koko tuotantojärjestelmä. 3D-skannauksen heikkous on, että sillä saadaan vain näkyvistä osista dataa. Esimerkiksi koneiden toimintamekaniikka tulee mallintaa CAD-ohjelmien avulla, vaikka koneiden ulkopuoli saadaankin mallinnettua virtuaaliesineeksi. Skannauksen tuloksia ei voida suoraan hyödyntää ohjelmistoissa vaan dataa tulee yksinkertaistaa ja pisteistä tulee muodostaa verkkoja. Näillä muutoksilla datasta saadaan vähemmän prosessointiresurssi-intensiivistä. (Nafors et al. 2017)

3D-skannausteknologiat ovat hyödyllisiä layout-suunnittelussa tilanhallintaan liittyvissä kysymyksissä niin osasto kuin laiteasolla. 3D-skannauksella saadaan nopeasti tilatietoja ja muodostettua virtuaalisia tehtaita. 3D-skannaus on perinteisiä menetelmiä nopeampi, koska tiloista saadaan tarkkoja mittoja ilman suurta määrää mittauksia. (Peron et al. 2020)

3D-layout malleja voidaan hyödyntää layout-suunnittelussa, työpistesuunnittelussa, ergonomia tutkimuksessa, henkilöstön koulutuksessa, sekä tarkan virtuaalitehtaan luomisessa. Virtuaalitehtaassa voidaan kouluttaa työntekijöitä jo ennen kuin sitä on rakennettu. (Plinta & Kłaptocz, 2021) Tuotannon työntekijöiden osaamistaso voi vaikuttaa merkittävästi läpivienti aikaan, minkä vuoksi asia on tärkeä yrityksille (Pérez-Gosende et al. 2021).

Virtuaalisten tehtaiden simulointia todenmukaisilla parametreilla kutsutaan virtuaaliseksi käyttöönotoksi. Virtuaalinen käyttöönotto on näyttänyt tuovan etuja laajan alan tuotannon optimoinnissa kuten materiaalivirtauksissa sekä kapeamman alan kuten robottien liiketoimintojen luomisessa, säästäen samalla aikaa ja kuluja. Nämä optimoinnit saavutetaan huomaamalla virheet suunnitelluissa tuotantosoluissa aikaisessa suunnitteluvaiheessa. Virtuaalinen käyttöönotto tarjoaa myös turvallisen tavan testata uuden teknologian ja ohjelmistojen testaamisen tuotantojärjestelmässä, koska fyysinen tuho esimerkiksi prototyyppi osille, ei ole mahdollista virtuaalimaailmassa. Virtuaalisen käyttöönoton päähyöty on vähentää testaukseen ja järjestelmien liittämiseen menevää aikaa suunnitteluvaiheessa. Virtuaalinen tehdas mahdollistaa myös tuotantolinjan muutosten testaamisen fyysisen tuotantolinjan edelleen toimiessa. Olemassa oleviin soluihin voidaan luoda myös kokeiluja esimerkiksi uuden robotin lisäämiseksi, varmistaen toimivuus muiden järjestelmien kanssa. (Dahl et al. 2017)

Virtuaaliset tehtaot tukevat nopeaa innovointivauhtia, tiedon ja tietämyksen nopean siirron avulla eri sidosryhmien välillä. Järjestelmät auttavat parantamaan laatua valmistuksessa ja vähentämään huoltotoimintaan ja koulutukseen liittyviä kustannuksia. (Shamsuzzoha et al. 2021) Laajennettua todellisuutta pidetään tärkeänä tukiteknologiana virtuaalitehtaiden luomisessa (Guo et al. 2022).

3. LAAJENNETTU TODELLISUUS

Laajennettu todellisuus (XR, engl. extended reality) on kattotermi virtuaalimaailman ja todellisuuden eri ilmentymille joita ovat virtuaalitodellisuus (VR, engl. virtual reality), lisätty todellisuus (AR, engl. augmented reality) ja yhdistetty todellisuus (MR, engl. mixed reality) (Adriana Cárdenas-Robledo et al. 2022). Laajennetun todellisuuden käsitteet eivät ole tutkijoiden mielestä täysin yksikäsitteisiä ja ne määritellään usein monin eri tavoin käyttökohteesta tai tutkimuksesta riippuen (Dahl et al. 2017).

Virtuaalitodellisuus (VR, engl. virtual reality) voidaan kuvailla ympäristönä, joka luodaan tietotekniikkaa käyttämällä vuorovaikutteiseksi kolmiulotteiseksi (3D, engl. three dimensional) maailmaksi, jossa esineet ovat avaruudellisesti esillä. Virtuaalitodellisuus eroaa perinteisistä 3D-tietokonegrafiikoista siten, että VR-grafiikoissa käsitellään esineitä eikä esineiden kuvia. Täten virtuaalimaailmoissa interaktiivisuus ja immersivisyys on olennainen piirre. Immersio kuvaa kuinka todenmukainen virtuaalinen ympäristö on käyttäjälle. (Shamsuzzoha et al. 2021)

Lisätty todellisuus tavoittelee todellisen maailman rikastuttamista yhdistämällä siihen saumattomasti digitaalista visuaalista tietoa (esim. grafiikkaa ja 3D-esineitä), ääntä ja muita ulkoisia ärsykeitä reaaliaikaisesti. Yhdistetty todellisuus on VR:n ja AR:n yhdistelmä, mikä yhdistelee todellisia elementtejä virtuaalitodellisuuteen. Termien eroavat siltä osalta että lisätyssä todellisuudessa ollaan pääosin todellisessa maailmassa ja yhdistetyssä todellisuudessa ollaan pääosin virtuaalimaailmassa. (Adriana Cárdenas-Robledo et al. 2022)

VR-ympäristöt voivat olla immersivisiä tai epäimmersivisiä. Epäimmersiiviset virtuaalimaailmat mahdollistavat käyttäjän näkemään digitaalisia malleja näyttöpäätteistä esimerkiksi tietokoneen näytön. Epäimmersiivistä virtuaalimaailmaa voidaan myös katsella tavallisilta näyttöpäätteiltä (Gong et al. 2019). Immersivisessä maailmassa käyttäjä pysyy interaktiomaan näkyvien esineiden kanssa. Virtuaalimaailma koostuu aktiivisista ja passiivisista objekteista. (Malik et al. 2020) Immersivisessä maailmassa liikkeen tiedon välitys tulee olla reaaliaikaista. Tämä tarve korostuu yhdistetyssä todellisuudessa, missä todellisen ja virtuaalisen maailman tulee toimia synkronoidusti. (Eswaran et al. 2023)

Virtuaalitodellisuutta käytetään nykyisin hyödyntämällä virtuaalitodellisuuslaseja (HMD engl. head mounted display), missä käyttäjälle luodaan immersivinen kuva hyödyntämällä kahta silmien edessä olevaa näyttöä. HMD:en käyttö mahdollistaa laajan näkökentän ja 3D-efektin mikä luo käyttäjälle immersiota. HMD:t tunnistavat käyttäen liikkeen

hyödyntäen erilaisia sensoreita, joiden avulla käyttäjä pystyy liikkumaan virtuaalimaailmassa. (Gong et al. 2019) Käyttäjän immersiota voidaan lisätä hyödyntämällä ohjaimia, joilla käyttäjä pystyy interaktiomaan virtuaalisten esineiden kanssa luonnollisesti (Malik et al. 2020).

Lisättyä todellisuutta käytetään nykyisin pääosin mobiililaitteiden avulla epäimmersiivisesti hyödyntämällä niiden kameroita ja sensoreita (Adriana Cárdenas-Robledo et al. 2022). Lisätty todellisuus voi olla myös immersivistä HMD:en avulla, mutta mobiililaitteet ovat suosittuja niiden saatavuuden vuoksi. Kokeiluja projektiopohjaiseen lisättyyn todellisuuteen on myös tehty teollisuudessa. Projektiopohjainen lisätty todellisuus eli SAR (engl. spatial augmented reality), mahdollistaa virtuaalelementtien lisäämisen ilman käyttäjän tarvetta operoida laitetta itse. (Eswaran et al. 2023)

Yhdistettyä todellisuutta käytetään tavallisesti erikoismallisten HMD:en avulla, mitkä mahdollistavat todellisen maailman näkemisen samanaikaisesti virtuaalimaailman kanssa. (Adriana Cárdenas-Robledo et al. 2022) Vaihtoehtoisia laitteita eri laajennetun todellisuuden muodoille on laajasti, mutta nämä ovat yleisimmin käytössä olevat (Eswaran et al. 2023).

Laajennettua todellisuutta pidetään yhtenä Industry 4.0 mahdollistavista teknologioista (Guo et al. 2022). Sitä käytetään laajasti useilla teollisuuden aloilla, kuten ajoneuvo-, ilmailu-, bioteknologia- ja rakennusteollisuudessa (Dammacco et al. 2022). Adriana Cárdenas-Robledo et al. (2022) tekemässä systemaattisessa kirjallisuuskatsauksessa löydettiin 67 eri teollista käyttötarkoitusta laajennetulle todellisuudelle (Adriana Cárdenas-Robledo et al. 2022). Yleisimmät ja lupaavimmat käyttökohteet ovat koulutuksessa, ylläpidossa ja suunnittelussa (Dammacco et al. 2022). Monilla teollisuuden aloilla on löydetty mahdollisuuksia XR:n avustamaan kouluttamiseen. Koulutustilaisuuksissa on voitu muodostaa kokeiluja erinäisiin tilanteisiin helpommin, kuin perinteisillä menetelmillä. (Adriana Cárdenas-Robledo et al. 2022)

VR-järjestelmien avulla kouluttautuminen on havaittu tuovan hyötyjä tavalliseen oppimiseen ja koulutukseen verrattuna. Järjestelmien avulla voidaan kouluttaa tekemisen kautta, mikä ei usein ole mahdollista todellisissa ympäristöissä rajoitteiden kuten hinnan, ajan ja turvallisuuden vuoksi. Koulutettavat henkilöt esimerkiksi pystyvät liikkumaan virtuaalisessa tehtaassa oppien mahdollisista vaaroista paremmalla vuorovaikutuksella kuin ohjekirjaa lukemalla tai luentoa kuuntelemalla. Oppilaat voivat muodostaa kokeiluja ilman että vaarantavat itseään tai tuotantoa. (Shamsuzzoha et al. 2021) Virtuaalitodellisuuden on todistettu olevan toimiva tapa kouluttaa ihmisiä. (Dahl et al. 2017) VR-ympäristö on ideaali ratkaisu henkilöstön koulutukseen, koska sillä voidaan mallintaa todellisia

työolosuhteita samalla kun minimoidaan kustannukset ja vähennetään koulutukseen liittyviä vaaroja. (Plinta & Kłaptocz, 2021)

Virtuaalitodellisuus mahdollistaa paremman yhteistyön suunnittelijoiden välillä, minkä vuoksi teknologiaa hyödynnetään yhä enemmän. (Dammacco et al. 2022) Sen avulla voidaan nopeasti luoda virtuaalisia malleja tuotteista, tuotannosta tai prosesseista. (Guo et al. 2022) Autoteollisuuden alalla on onnistuneesti käytetty VR-teknologiaa värien ja ergonomian analysointiin kehityksen aikaisessa vaiheessa (Dahl et al. 2017). Uusia käyttökohteita tutkitaan ja löydetään jatkuvasti (Adriana Cárdenas-Robledo et al. 2022).

4. LAAJENNETUN TODELLISUUDEN KÄYTTÖ TUOTANNON LAYOUT- JA TYÖPISTESUUNNITTELUSSA

Laajennetusta todellisuudesta on teknologian laskeneen hinnan ja kasvaneen suorituskyvyn vuoksi löydetty potentiaalia tuotannon layout-suunnittelussa. Perinteiset layout-suunnittelun mallit on todettu tehokkaiksi tuotannon yleiseen layout suunnitteluun, mutta ottavat huonosti kantaa ergonomia- ja turvallisuuskysymyksiin sekä työntekijöiden mieltymyksiin. Laajennetun todellisuuden avulla voidaan simuloida näitä elementtejä sekä näiden pieniä muutoksia. (Gong et al. 2019)

Virtuaalitodellisuutta hyödynnetään laajasti tuotesuunnittelussa konseptiointivaiheessa, mutta sitä ei ole hyödynnetty laajasti ja tehokkaasti tuotteiden toiminnassa, valmistuksessa ja kunnossapidossa. (Shamsuzzoha et al. 2021) Aiheeseen liittyviä tutkimuksia tehdään jatkuvasti, mutta kaupalliset ratkaisut ja menetelmät ovat vielä puutteellisia. (Gong et al. 2019) Seuraavissa alaluvuissa esitellään mahdollisia sekä todettuja käyttökohteita virtuaalitodellisuudelle tuotannon layout- ja työpistesuunnittelussa.

4.1 Suunnittelukäyttö

Layouttien ja työpisteiden suunnittelussa on laajennetulle todellisuudelle löytynyt monia mahdollisia käyttökohteita. Tässä kappaleessa esitellään, miten teknologiaa voidaan hyödyntää uusien layouttien ja työpisteiden suunnittelussa.

Laajennettu todellisuus soveltuu vähäisten materiaalitarpeiden vuoksi hyvin prototyyppien luomiseen. Teknologia mahdollistaa suunnittelijoiden kokeilevan ”mitä jos” hahmotelmia erilaisista ideoista pienemmällä vaivalla kuin perinteisillä menetelmillä (Gong et al. 2019). Perinteisesti työpiste prototyyppien testaaminen suunnittelun aikana on vaatinut testausympäristön, mihin pystytään luomaan joustavia layout-ratkaisuja. Virtuaalissa tehtaassa VR-teknologiaa hyödyntämällä tämän kaltaisia kalliita tiloja ei tarvita ja samoja kokeiluja voidaan suorittaa lähes missä tahansa. (Plinta & Kłapoczn, 2021)

Virtuaalitodellisuuden on havaittu mahdollistavan yhteisöllisemmän suunnitteluprosessin. Realistisen virtuaalimallin avulla eri taustan omaavat sidosryhmät pystyvät aktiivisemmin osallistuvan suunnitteluun, ilman aikaisemmin tarvittavaa asiantuntemusta. (Gong et al. 2019) Immersiivinen VR on todettu olevan hyödyllinen työkalu yhteistyöllisessä tehtaassa suunnittelussa, erityisesti kun eri käyttäjien useat näkökulmat on visualisoitu (Nafors et al. 2017).Täten esimerkiksi kiertotalouden asiantuntijat voivat paremmin

antaa näkemyksensä layout-ongelmissa. Laajennettu todellisuus voi auttaa vähentämään tietokonepohjaisen suunnittelun kognitiivista eroa todelliseen maailmaan nähden. XR-avusteinen suunnittelu mahdollistaa myös layouttien suunnittelua tehtaista ulkopuolella. (Herr et al. 2018)

Virtuaalitodellisuuden avulla voidaan tehdä layouttien hienosuunnittelua aikaisemmassa vaiheessa, kuin perinteisiä layout-suunnittelun menetelmiä käyttäen. (Peruzzini et al. 2021). Virtuaalitodellisuudella voidaan nopeasti simuloida tuotannon ja kokoonpanon prosesseja, missä käyttäjät osallistuvat eivätkä vain katso toimintaa. Tämä toiminta mahdollistaa ihmisten tarkkailun, jonka avulla voidaan tehdä ergonomia-analyysiä. (Guo et al. 2022) Peruzzi et al. tekemässä tutkimuksessa havaittiin virtuaalivalmistuksen näyttävän hyvin ergonomiaongelmat, mitkä esiintyivät myös oikeassa tuotantolinjassa. Tutkimuksessa havaittiin virtuaalisen valmistamisen olevan tehokas työkalu ergonomia-analyysiin, koska se mahdollistaa ihmisen nivelliikkeiden reaaliaikaisen seuraamisen. Tuloksia pystytään hyödyntämään suoraan työpisteen layout-suunnittelussa, jo suunnittelun alkuvaiheilla. (Peruzzini et al. 2021)

Virtuaalitodellisuus voi myös auttaa robottien ja ihmisten välisen interaktion suunnittelua. Ihmisten liike on monimutkaista ja sitä on hankala mallintaa CAD-ohjelmilla. Virtuaalitodellisuudella voidaan mallintaa ihmisen liikkeitä robottisolussa realistisesti, minkä avulla voidaan luoda helpommin ympäristöjä missä ihmiset ja robotit toimivat keskenään. Virtuaalitodellisuudella voidaan tarkastella robottien liikeratoja, luoda niitä tai liikutella robottia käsin. (Malik et al. 2020)

AR- ja MR-laitteiden avulla voidaan myös luoda visualisointeja ja layout kokeiluja tyhjiin tuotantotiloihin. Tämä voi olla hyödyllinen ominaisuus valmiiseen halliin uutta layouttia suunnitellessa. Suunnittelussa voidaan ottaa suoraan huomioon tilankäytön rajoitteet ja samalla luodaan visualisointi lopullisesta linjasta. Virtuaalielementit mahdollistavat tarkemman visuaalisen varmistamisen tilankäytön suhteen kuin perinteiset tietokonemenetelmät. MR-avusteisessa suunnittelussa voidaan myös luoda paremmin robottien liikeraatoja ihmisille sopiviksi. Äkkinäiset ja piilossa olevat robottien liikkeet voivat säikäyttää työntekijöitä ja näiden havaitseminen voi olla vaikeaa perinteisissä menetelmissä. Verrattuna VR-lähestymistapaan, MR-sovelluksissa ei tarvitse mallintaa tehdasta vaan voidaan käyttää todellista tilaa. (Herr et al. 2018)

Herr et al. (2018) tekemässä tutkimuksessa huomattiin muun muassa perinteisin menetelmien suunniteltujen kuljetushihnojen olevan sopimattomia tuotannon tiloihin. AR-maailmassa pystyttiin muokkaamaan tavarankuljetushihnat sopimaan tuotannon tiloihin.

(Herr et al. 2018) AR-tekniikan avulla voidaan optimoida materiaalin käsittelyä sekä nähdä tilankäytön vaatimukset visuaalisesti (Tan et al. 2021).

VR-tekniikan hyödyntäminen layout-suunnittelun alkuvaiheissa on vielä alkuvaiheessa teollisuudessa, lukuun ottamatta muutamia edellä mainittuja esimerkkejä. Tekniikkaa on käytetty onnistuneemmin nykyisten layouttien ja työpisteiden toimivuuden varmistamiseen ja työpisteiden hienosäätöön.

4.2 Varmistuskäyttö ja hienosäädön mahdollisuudet

Virtuaalitodellisuudella on havaittu olevan selkeitä etuja myös olemassa olevien layout-suunnitelmien toiminnan ja vaatimusten täyttämisen varmistamisessa sekä hienosäädössä. Immersiiviset virtuaalisimulaatiot mahdollistavat käyttäjän mukautuvan virtuaalisen tehtaan työntekijäksi. Tämän avulla voidaan selvittää kokeellisten tehtävien ja työvaiheiden soveltuvuus sekä käyttökelpoisuus. Näillä kokeiluilla voidaan parantaa työpisteiden toimivuutta sekä suunnitella tehtäviä etukäteen, mikä mahdollistaa tehottomien vaiheiden minimoinnin. (Peruzzini et al. 2021)

Simuloinnissa saadaan myös selville ergonomiaan liittyviä ongelmia. Perinteisiin simulaatioihin verrattuna, immerssiiviset virtuaalisimulaatiot mahdollistavat ihmisen kognitiivisen puolen huomioimisen. Näihin kuuluvat esimerkiksi satunnaisvirheet, päätöksien teko ja ihmisen luotettavuus. Tätä työvaihetta kutsutaan termillä virtuaalinen valmistus tai virtuaalinen kokoonpano, riippuen simuloitavasta työvaiheesta. Markkinoilla olevat ohjelmistot tarjoavat ergonomista analyysia varten metodeja, mutta nämä menetelmät pohjautuvat hyvin paljon asiantuntijoiden arvioihin ja harkintoihin simulaatioprosessin olevan monimutkaista ja aikaa vievää. Täten simulaatiot eivät ole yhtenäisiä lopullisten käyttäjien mielipiteiden kanssa. (Peruzzini et al. 2021) Virtuaalitodellisuudella on siis hyötyä yhtenäisemmän tutkimusdatan saamiseksi.

CAD- sekä CAAP (engl. Computer-aided assembly planning, tietokoneavusteinen kokoonpanon suunnittelu) -järjestelmiä käytetään tuotteen virtuaaliseen kokoonpanoon. Virtuaalisella kokoamisella voidaan varmistaa työvaiheiden yhteensopivuus ja optimoida työvaiheita. Virtuaalitodellisuus tulee järjestelmissä mukaan, kun halutaan luoda ihmisiä sisältäviä simulaatioita. Virtuaalitodellisuus mahdollistaa ihmisten liikkeiden ja toimintojen simulaatiota perinteisiä menetelmiä paremmin. Virtuaalitodellisuussimulaatio mahdollistaa jo suunnitteluvaiheessa esimerkiksi hankalien liikkeiden, liian kaukana tai lähellä olevien työkalujen ja liialliset osien pyörittämisen aiheuttamat hankaluudet. Tekniikan avulla voidaan myös tutkia työkaluihin sekä kiinnittämiseen liittyviä vaatimuksia. (Seth et al. 2011) Kasvojen tunnistustekniikoita hyödyntämällä voidaan myös tutkia

työntekijöiden tunnetiloja virtuaalisessa kokoonpanossa. Tällä voidaan havaita ja tutkia tarkemmin epämiellyttäviä työvaiheita. (Eswaran et al. 2023) Laajennettu todellisuus mahdollistaa datan seuraamisen reaaliaikaisesti layout-tutkimusta tehdessä. Käyttäjä tai valvoja pystyy näkemään esimerkiksi koneista ja prosesseista reaaliaikaista dataa, mikä voi parantaa layout-tutkimuksen tuloksia. (Herr et al. 2018)

Virtuaalitodellisuutta voidaan hyödyntää myös virtuaalisessa käyttöönotossa. VR-tekniologia mahdollistaa turvallisuuden, ergonomian ja ohjainlogiikan reaaliaikaisen testaamisen. Nopealla testaamisvauhdilla pystytään ratkaisemaan mahdolliset virheet ja ongelmatilanteet virtuaalisesti, mikä vähentää järjestelmän fyysiseen toteuttamiseen vaadittavaa aikaa. (Dahl et al. 2017)

VR-pohjaisilla layout-suunnittelun työkaluilla voidaan tutkia tarkasti layout-suunnitelmia interaktiivisesti. Tällä hetkellä VR-työkalut vaativat paljon tietotaitoa, eivätkä täten sovellu moniin yrityksiin ja niiden henkilöstöille. AR-tekniologia voi olla tehokkaampi ratkaisu monissa tilanteissa missä hyödynnetään olevassa olevia tiloja ja tuotantolinjoja. Hienovaraista layout- tai työpistesuunnittelua voidaan toteuttaa virtuaalisilla elementeillä mallintamatta koko ympäristöä virtuaalisesti. (Jiang et al. 2014) Lisätyn todellisuuden on katsottu olevan parempi tekniologia kuin virtuaalitodellisuus olemassa olevien suunnitelmien analysointiin ja muokkaamiseen. VR-tekniologia sopii taas paremmin täysin uusien layouttien luomiseen, koska se ei vaadi olemassa olevia tiloja tai tuotannon laitteita. (Tan et al. 2021)

Tan et al. (2021) tekemässä tutkimuksessa huomattiin aikaisemmin huomaamaton pullonkaula AR-kokeilua tehdessä. Tutkimuksessa oli luotu tuotantolinjan layout perinteisin suunnittelun menetelmin, jota varmistettiin AR:n avulla. Pullonkaula huomattiin ja pystyttiin ratkaisemaan virtuaalisesti ennen fyysistä toteutusta. Pullonkaulan korjaamiseksi luotiin uusi layout, mikä paljastui AR-kokeilussa toimivammaksi kuin aikaisempi suunnitelma. Pullonkaulan vaikutuksista saatiin myös numeerista dataa, mikä helpotti layoutin optimointia. Samassa tutkimuksessa lopullisen tuotantolinjan kokoa saatiin myös huomattavasti pienennettyä järjestelemällä koneita uudelleen. AR-tekniologian avulla pystyttiin nopeasti varmistamaan layout-muutosten olevan toimivia ihmisille. Layoutita pystyi helposti muuttamaan vaihtamalla virtuaaliesineiden sijoitusmerkintöjä. (Tan et al. 2021)

XR- tekniologian avulla mahdolliset loppukäyttäjät voivat aloittaa jo tuotantojärjestelmän koulutuksen ennen kuin se on rakennettu. Tämä säästää aikaa koulutusprosessissa ja koulutuksessa tehtyjä havaintoja voidaan käyttää layout-ratkaisun hienosäätöön. (Dahl et al. 2017)

5. LAAJENNETUN TODELLISUUDEN RAJOITTEET JA TULEVAISUUS LAYOUT- JA TYÖPISTESUUNNITTELUSSA

Vaikka laajennetun todellisuuden mahdollisuudet sekä hyödyt ovat selkeät, teknologiaa ei käytetä kovin usein tuotantojärjestelmien suunnitteluun. Asiaan liittyvä tieteellinen kirjallisuus keskittyy pääasiassa vain suunnittelun tarkasteluun yksinkertaistetuissa virtuaalisissa tuotantojärjestelmissä. VR-ohjelmistojen kehittämien ja käyttäminen on vielä haastavaa, koska standardisoituja järjestelmiä ja toimintatapoja ei ole olemassa. Käytännön esimerkkejä löytyy, mutta ne rajoittuvat pääosin yksittäistapauksiin ja hyvin yksinkertaistettuihin malleihin tuotantojärjestelmistä. (Dammacco et al. 2022) Suurin osa kehitetyistä tuotantojärjestelmien XR-kokeiluista ovat olleet tieteellisiä kokeiluja eikä niitä ole nähty juurikaan kaupallisesti (Eswaran et al. 2023).

Tämän hetken suurin ongelma VLP-ongelmissa on virtuaalisen mallintamisen hitaus. Riittäväällä tarkkuudella mallintaminen on hidasta erityisesti olemassa olevia tehtaita mallintaessa uudelleensuunnittelua varten. Näissä tilanteissa ympäristö on usein liian yksityiskohtainen tarkkaan mallinnukseen CAD-ohjelmistolla. Tutkimuksia on tehty, missä hyödynnetään 3D-skannausta CAD-datan muodostamiseksi. Teknologia on näyttänyt potentiaalia mallinnuksen nopeuttamiseksi, mutta datan jälkikäsitteily on nykyisellään hidasta. Datan käsittelyä voidaan tulevaisuudessa nopeuttaa koneoppimista hyödyntäen. Ongelmana skannauksessa on, että vain näkyvistä osista tulee dataa. Koneiden toiminta mekaniikka joudutaan edelleen mallintamaan manuaalisesti. (Gong et al. 2019)

Vaikka on olemassa monia kehittyneitä kaupallisia virtuaalitodellisuusjärjestelmiä, teollisiin tarkoituksiin luotuja järjestelmiä on vielä saatavilla vähän. Kaupalliset järjestelmät eivät tue halutulla tasolla teollisuuden tarpeita, kuten esimerkiksi koko kehon tarkkailua ergonomia-analyysissä. Tällä hetkellä VR-järjestelmät ovat myös irtautuneita perinteisistä tuotesuunnitteluohjelmistoista kuten CAD-ohjelmistoista. (Guo et al. 2022) Virtuaalimaailmoja käytetään nykyään usein kaupallisten pelimoottoreitten kuten Unity:n kautta, mitkä eivät ole täysin yhteensopivia teollisuuden suunnittelujärjestelmien kanssa (Gong et al. 2019). VR-järjestelmien tulisi olla integroituneita perinteisiin tuotesuunnitteluohjelmistoihin, jotta ihmisen kehon liikkeistä saataisiin parempaa dataa sekä nopeutettaisiin simulaatio prosessia (Guo et al. 2022). Simulaatiota muuttaessa tulee nykytilanteissa tehdä aina konversio pelimoottoreihin, mikä hidastaa prosessia.

Nykyiset järjestelmät eivät myöskään tarjoa haptista aistipalautetta tai täydellistä immersiota käyttäjille. (Dahl et al. 2017; Guo et al. 2022; Peruzzini et al. 2021) Ongelma voitaisiin ratkaista kehittyneimmillä ohjaimilla tai esimerkiksi fyysisillä kappaleilla, mitkä mallintavat virtuaalimaailman kappaleita (Dahl et al. 2017). Kehitteillä on uusia ohjaimia, jotka hyödyntävät moniaistisiapalautteita, joilla kappaleiden kanssa vuorovaikutus on realistisempaa. (Peruzzini et al. 2021) Immersion lisäämiseen tehtyjä ohjaimia on jo olemassa kuten esimerkiksi aistipalautetta antavia hanskoja, mutta ne ovat vielä erittäin kalliita ja alkeellisia teolliseen tarkoitukseen. (Malik et al. 2020)

AR-pohjaisissa tuotannon layout-suunnitelmissa ongelmia on aiheuttanut virtuaali- ja todellisten objektien välinen kanssakäyminen. Objektien välinen interaktio on hyvin rajoitunutta ja kokeiluissa on jouduttu käsittelemään niitä eri tavoin. Myös virtuaalisten esineiden seuranta ja liikuttaminen on osoittautunut haasteelliseksi. Tämä on vähentänyt tulosten yhtenäisyyttä tosimaailman kanssa esimerkiksi kiinnikkeiden käytössä. Myös konkreettiset arviointiperusteet ovat puutteellisia, eikä tulokset ole täten olleet yhtenäisiä todellisen tilanteen kanssa. (Jiang et al. 2014) Herr et al. (2018) tekemässä tutkimuksessa havaittiin laajennetun todellisuuden interaktio virtuaali- ja todellisen ympäristön välillä epätarkaksi. Virtuaaliset esineet liikkuvat itsestään ja niiden kanssa interaktioiminen ei ollut luonnollista kokemattomalle käyttäjälle. (Herr et al. 2018) Seuranta ongelmiin on haettu ratkaisuja paremmilla seuranta-algoritmeilla, kameroilla ja fyysisiä merkintöjä käyttäen. (Jiang et al. 2014) VR-maailmoissa esineiden käsittely on helpompaa, koska kaikki esineet ovat virtuaalisia toisin kuin AR- ja MR-ympäristöissä.

Tehdyt tutkimukset ovat myös rajoittuneita virtuaalimaailmaa vuorovaikuttavien käyttäjien kannalta. Suurimmassa osassa tutkimuksissa VR-tekniikkaa hyödyntää vain yksi henkilö kerrallaan, eikä useamman ihmisen yhteistyö VR-maailmassa ole vielä yleistä teollisessa kontekstissa. (Dahl et al. 2017) Yhteistyöllinen VR-maailma on toteutettu onnistuneesti pelialalla, joten tulevaisuudessa kokonaisten tuotantolinjastojen VR-simulointi voi olla mahdollista. Yhteisöllisellä VR-tuotantolinjalla voitaisiin tutkia ihmisten toimintaa ja yhteistyötä tarkasti kokeiluissa, mitä ei olisi helppo toteuttaa todellisilla tuotantolinjoilla.

VR-tekniikan hyödyt ja edut ovat selkeät, mutta koska vakiintuneet käytännöt puuttuvat, yritykset eivät ole laajamittaisesti halunnut ottaa teknologiaa käyttöön layout-suunnittelussa (Gong et al. 2019). Vakiintuneet käytännöt ja ohjelmistot helpottaisivat virtuaalimaailman luomista, mikä on tällä hetkellä hyvin työlästä. Yrityksillä ei ole kiinnostusta muodostaa epäonnistuneita kokeiluja, minkä takia teknologiaa ei ole vielä täysin osattu hyödyntää.

Tulevaisuudessa virtuaalitodellisuuteen keskittyneet layout-suunnittelun alihankintayhtiöt voivat olla kasvava ala. Erityisesti pienemmät yritykset toteuttavat nykyisellään layout-suunnittelun ulkoisesti ja XR-tekniologiaa aktiivisesti hyödyntävä suunnitteluyritys voi tuoda lisäarvoa markkinoille. Tämän kaltaiset suunnitteluyritykset pystyisivät toteuttamaan suuren osan suunnittelutyöstä ilman tehdastiloja. Tämä voi pienentää suunnittelun kuluja ja tehdä siitä joustavampaa.

XR-tekniologian käyttämisestä tuotantolinjojen visualisointiin on myös paljon puhuttu aihe lähdeteksteissä, mistä ei kuitenkaan vielä juurikaan löydy käytännön esimerkkejä. CAD-ohjelmistoihin on kuitenkin alkanut tullemaan VR-lisäosia, joten nämä varmasti yleistyvät tulevaisuudessa. Ergonomiaan ja yleiseen työpistesuunnitteluun keskittyneitä tutkimuksia on tehty laajasti, mutta layoutin optimointi XR-tekniologian avulla on vielä osittain käsittelemätön aihe, jonka mahdollisuuksia ei ole täysin osattu hyödyntää. Laajennetusta todellisuudesta teollisuudessa tehdään tällä hetkellä paljon tutkimuksia, joten on todennäköistä, että asiaa tutkitaan lähivuosina enemmän.

6. YHTEENVETO

Tämän työn tavoitteena oli tutkia, miten laajennettua todellisuutta voidaan hyödyntää tuotannon layout- ja työpistesuunnittelussa. Työssä pohdittiin myös teknologian tulevaisuutta suunnittelussa. Työ toteutettiin kirjallisuuskatsauksena hyödyntäen vertaisarvioituja tieteellisiä artikkeleita.

Layout-suunnittelu on yrityksille hyvin kiinnostavaa, koska toimivan tuotannon layoutin on todettu vähentävän kustannuksia merkittävästi. Layout-suunnittelu on monimutkainen ja iteratiivinen prosessi, mitä on tutkittu paljon. Suunnittelussa ei ole olemassa valmiita ratkaisuja tai algoritmeja millä saisi selville optimaalisen layoutin jokaisessa tilanteessa. Layout-suunnittelua tehdään nykyään usein tehdassimulaatio-ohjelmistojen avulla virtuaalitehtaissa, missä voidaan suorittaa tietokonesimulaatioita optimaalisen layoutin löytämiseksi. Nämä ohjelmistot ottavat heikosti kantaa hienosuunnittelun eli työpistesuunnittelun haasteisiin. Näitä haasteita on muun muassa ergonomiaongelmat ja terveyteen sekä turvallisuuteen liittyvät kysymykset. Teollisuussimulaatio-ohjelmat keskittyvät nykyisellään suurien kokonaisuuksien suunnitteluun ja hallitsemiseen. Laajennetusta todellisuudesta on löydetty mahdollisia ratkaisuja näihin ongelmiin.

Työssä havaittiin laajennetun todellisuuden olevan nopeasti kehittyvä ala teollisuudessa, ja sille on löytynyt monia potentiaalisia käyttökohteita myös tuotannon layout- ja työpistesuunnittelussa. Laajennettua todellisuutta pidetään yhtenä Industry 4.0 mahdollistavana tekijänä. Laajennettua todellisuutta on käytetty onnistuneesti teollisuudessa esimerkiksi tuotesuunnittelussa interaktiivisten visualisointien luomiseen. Laajennetun todellisuuden on myös todettu olevan toimiva tapa kouluttaa ihmisiä. VR, AR ja MR teknologiat ovat löytäneet omia käyttötarkoituksia ja sopivia käyttöympäristöjä teollisuudessa. Työssä havaittiin myös eri laajennetun todellisuuden teknologioiden sopivan paremmin eri tehtäviin kuin toiset.

Ensimmäiseen ja toiseen tutkimuskysymykseen löydettiin monia vastauksia. Laajennettua todellisuutta voidaan käyttää tuotannon layout- ja työpistesuunnittelussa monissa eri vaiheissa ja tilanteissa. Suunnitteluvaiheessa sitä voidaan hyödyntää erilaisiin kokeiluihin, mitkä vaativat vähemmän materiaaleja, tilaa ja mahdollisesti aikaa kuin todellisessa maailmassa tehdyt kokeilut. Laajennetulla todellisuudella voidaan tutkia ihmisen liikettä luonnollisemmin kuin nykyisillä tehdassimulaatio-ohjelmilla. Tämä mahdollistaa tarkan ergonomia- ja turvallisuusanalyysin aiheuttamatta vaaraa kokeiluhenkilölle. XR-tekno-

gialla on myös onnistuneesti löydetty pullonkauloja suunnitellusta mutta toteuttamattomasta tuotantolinjasta. Teknologia soveltuu myös olemassa olevien layouttien tutkimiseen sekä hienosäätöön vaikuttamatta fyysisen tuotantolinjan toimintaan.

Kolmanteen tutkimuskysymykseen saatiin selville myös monia ratkaisuja eli kehitysehdotuksia. Laajennettua todellisuutta ei sen mahdollisuuksista huolimatta ole onnistuttu hyödyntämään täysin tuotannon layout- ja työpistesuunnittelussa. Virtuaalinen mallintaminen on hidasta, koska kappaleiden mallintaminen on työlästä. Olemassa olevia ratkaisuja ja työtapoja ei ole juurikaan olemassa ja kokeiluissa on usein täytynyt luoda suuria osuuksia simulaatiosta itse. Tehdassimulaatio-ohjelmistot tukevat nykyisellään huonosti laajennettua todellisuutta, mikä lisää työmäärää. Alalla on kuitenkin näkyvissä kehitystä ja tulevaisuudessa nämä ohjelmistot voivat sisältää laajennetun todellisuuden ominaisuuksia.

Interaktio kappaleiden välillä on monissa tutkimuksissa osoittautunut puutteelliseksi mikä on tehnyt tutkimuksista vähemmän yhtenäisiä tosimaailman kanssa. Immersio nykyisillä XR-laitteilla on myös usein puutteellista aistipalautteen ollessa vähäistä. Näihin ongelmiin on kuitenkin olemassa ratkaisuja parempien laitteistojen avulla.

Laajennetulle teollisuudelle teollisuudessa tehdään laajasti uusia tutkimuksia. Layoutin optimointi laajennetun todellisuuden avulla on vielä käsittelemätön aihe tieteellisessä keskustelussa, vaikka potentiaalisia käyttökohteita teknologialle on löytynyt. Tämän kaltaiselle tutkimukselle olisi tarvetta nykyisten layout-suunnittelujärjestelmien rajoitteiden vuoksi. Tulevaisuudessa myös vakiintuneille työtavoille ja menetelmille on selkeästi tarvetta laajennetun todellisuuden osalta.

Työssä ei tutkittu kaupallisia ratkaisuja ja kaikki esimerkit olivat tieteellisiä kokeiluja. Yritykset ovat tuottaneet omia kokeiluja ja kaupallisia järjestelmiä layout-suunnittelua varten, mitä tämä työ ei käsittele. Työssä myöskään ei tarkemmin käsitelty layout-suunnittelun toteutukseen laajennetussa todellisuudessa vaan työssä käsiteltiin enemmän teknologian mahdollisuuksia ja käyttökohteita. Tutkimuksen tulokset eivät täten anna kaiken kattavaa kuvaa teknologian nykytilasta, mutta osoittaa tämänhetkiset ongelmat ja haasteet.

LÄHTEET

Adriana Cárdenas-Robledo, L., Hernández-Uribe, Ó., Reta, C., Antonio Cantoral-Ceballos, J., 2022. Extended reality applications in industry 4.0. – A systematic literature review. *Telemat. Inform.* 73, 101863. <https://doi.org/10.1016/j.tele.2022.101863>

Al-Zubaidi, S.Q.D., Fantoni, G., Failli, F., 2021. Analysis of drivers for solving facility layout problems: A Literature review. *J. Ind. Inf. Integr.* 21, 100187. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2020.100187>

Dahl, M., Albo, A., Eriksson, J., Pettersson, J., Falkman, P., 2017. Virtual reality commissioning in production systems preparation, in: 2017 22nd IEEE International Conference on Emerging Technologies & Factory Automation (ETFA). Presented at the 2017 22nd IEEE International Conference on Emerging Technologies & Factory Automation (ETFA), IEEE, Limassol, pp. 1–7. <https://doi.org/10.1109/ETFA.2017.8247581>

Dammacco, L., Carli, R., Lazazzera, V., Fiorentino, M., Dotoli, M., 2022. Designing complex manufacturing systems by virtual reality: A novel approach & its application to the virtual commissioning of a production line. *Comput. Ind.* 143, 103761. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2022.103761>

Eswaran, M., Gulivindala, A.K., Inkulu, A.K., Raju Bahubalendruni, M.V.A., 2023. Augmented reality-based guidance in product assembly & maintenance/repair perspective: A state of the art review on challenges & opportunities. *Expert Syst. Appl.* 213, 118983. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.118983>

Gong, L., Berglund, J., Fast-Berglund, Å., Johansson, B., Wang, Z., Börjesson, T., 2019. Development of virtual reality support to factory layout planning. *Int. J. Interact. Des. Manuf. IJIDeM* 13, 935–945. <https://doi.org/10.1007/s12008-019-00538-x>

Guo, Z., Zhou, D., Hao, A., Wang, Y., Wu, H., Zhou, Q., Yu, D., Zeng, S., 2022. An evaluation method using virtual reality to optimize ergonomic design in manual assembly & maintenance scenarios. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 121, 5049–5065. <https://doi.org/10.1007/s00170-022-09657-4>

Herr, D., Reinhardt, J., Reina, G., Krüger, R., Ferrari, R.V., Ertl, T., 2018. Immersive Modular Factory Layout Planning using Augmented Reality. *Procedia CIRP* 72, 1112–1117. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.03.200>

Jiang, S., Ong, S.K., Nee, A.Y.C., 2014. An AR-based hybrid approach for facility layout planning & evaluation for existing shop floors. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 72, 457–473. <https://doi.org/10.1007/s00170-014-5653-6>

Malik, A.A., Masood, T., Bilberg, A., 2020. Virtual reality in manufacturing: immersive & collaborative artificial-reality in design of human-robot workspace. *Int. J. Comput. Integr. Manuf.* 33, 22–37. <https://doi.org/10.1080/0951192X.2019.1690685>

Nafors, D., Lindskog, E., Berglund, J., Gong, L., Johansson, B., Vallhagen, J., 2017. Realistic virtual models for factory layout planning, in: 2017 Winter Simulation Conference (WSC). Presented at the 2017 Winter Simulation Conference (WSC), IEEE, Las Vegas, NV, pp. 3976–3987. <https://doi.org/10.1109/WSC.2017.8248107>

- Pérez-Gosende, P., Mula, J., Díaz-Madroño, M., 2021. Facility layout planning. An extended literature review. *Int. J. Prod. Res.* 59, 3777–3816. <https://doi.org/10.1080/00207543.2021.1897176>
- Peron, M., Fracapane, G., Sgarbossa, F., Kay, M., 2020. Digital Facility Layout Planning. *Sustainability* 12, 3349. <https://doi.org/10.3390/su12083349>
- Peruzzini, M., Grandi, F., Cavallaro, S., Pellicciari, M., 2021. Using virtual manufacturing to design human-centric factories: an industrial case. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 115, 873–887. <https://doi.org/10.1007/s00170-020-06229-2>
- Plinta, D., Kłaptocz, K., 2021. VIRTUAL REALITY IN PRODUCTION LAYOUT DESIGNING. *Appl. Comput. Sci.* 17, 61–69. <https://doi.org/10.35784/acs-2021-06>
- Salminen, A., 2011. Mikä kirjallisuuskatsaus? : johdatus kirjallisuuskatsauksen tyyppeihin ja hallintotieteellisiin sovelluksiin. Vaasan yliopisto.
- Seth, A., Vance, J.M., Oliver, J.H., 2011. Virtual reality for assembly methods prototyping: a review. *Virtual Real.* 15, 5–20. <https://doi.org/10.1007/s10055-009-0153-y>
- Shamsuzzoha, A., Toshev, R., Vu Tuan, V., Kankaanpää, T., Helo, P., 2021. Digital factory – virtual reality environments for industrial training & maintenance. *Interact. Learn. Environ.* 29, 1339–1362. <https://doi.org/10.1080/10494820.2019.1628072>
- Tan, C.H., Yap, H.J., Musa, S.N., Chang, S.W., Sivadas, C.S., Hisaburi, A.S., Liew, K.E., Ismail, A.H., Baharudin, L.H., 2021. Augmented reality assisted facility layout digitization & planning. *J. Mech. Sci. Technol.* 35, 4115–4123. <https://doi.org/10.1007/s12206-021-0823-6>