

Matias Rannila

Ovihitsaamon layout-suunnittelu imuohjaukseen soveltuvaksi

Fortaco Ostrobothnia Oy

Opinnäytetyö

Kevät 2020

SeAMK Tekniikka

Konetekniikan tutkinto-ohjelma

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikan yksikkö

Tutkinto-ohjelma: Konetekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Auto- ja työkonetekniikka

Tekijä: Matias Rannila

Työn nimi: Ovihitsaamon layout-suunnittelu imuohjaukseen soveltuvaksi

Ohjaaja: Heikki Heiskanen

Vuosi: 2020

Sivumäärä: 65

Liitteiden lukumäärä: 14

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli luoda pohja ovihitsaamon kehittämiseksi suunnitteleamalla imuohjausjärjestelmä ja tähän järjestelmään perustuvia layout-vaihtoehtoja Visual Components -ohjelmistolla. Työn teoriaosuudella pyrittiin antamaan käsitys layout-suunnittelusta, Visual Components -ohjelmistosta, lean-filosofiasta sekä valmistuksen ohjauksen ja materiaalinhallinnan perusteista.

Opinnäytetyö tehtiin Kurikassa sijaitsevalle Fortaco Ostrobothnia Oy:lle. Kurikan toimipaikassa valmistetaan työkoneiden ohjaamoita ja siellä on henkilöstöä noin 250.

Työ aloitettiin piirtämällä pohja hitsaamosta Visual Components -ohjelmistolla ja tutustumalla tarkemmin alkutilanteeseen. Suunnittelutyö aloitettiin ensin imuohjaustavasta, jonka pohjalle suunniteltiin layout-vaihtoehtoja. Imuohjauksen myötä piti suunnitella uudestaan myös materiaalinhallintaa. Suunnitteluun otettiin projektiryhmän lisäksi mukaan hitsaamon ja varaston työntekijöitä vaikuttamaan suunnitelman lopputulokseen.

Tulokseksi saatiin suunnitelma visuaalisesta ja yksinkertaisesta kiskoihin perustavasta imuohjausjärjestelmästä, joka miellytti kaikkia osapuolia ja olisi varmasti myös käytännössä toimiva menetelmä. Imuohjauksen ansiosta ovia tehtäisiin vain oikeaan tarpeeseen eikä syntyisi valmiiden ovien puskurivarastoja, jotka ovat lean-filosofian mukaan hukkaa. Samalla säästyy aikaa ja resursseja, kun ei suunnitella ja valmisteta ovia etukäteen. Layout-vaihtoehtoja syntyi viisi kappaletta pienillä erilaisilla variaatioilla varustettuna. Useissa vaihtoehtoissa saatiin lisää pinta-alaa ovihitsaamon tuotantoon, jonka avulla saadaan tilaa uusille tuotteille ja keskitettyä lisää ovihitsausta samaan paikkaan. Layouteissa saatiin myös tehostettua materiaalivirtoja ja selkeytettyä tuotantoa muun muassa luomalla omat paikat ovien hitsausjigeille. Ovihitsaamoon suunniteltiin lisäksi kaksi välivarastointitapaa FIFO-periaatetta soveltaen mahdollistamaan imuohjaus ja korvaamaan edeltävää keräilykärryihin perustuvaa materiaalinhallintaa. Kappaleet 7 ja 8 sekä kaikki liitteet ovat salattuja julkisessa versiossa, sillä niiden julkaisu saattaa vahingoittaa tai olla vaaraksi toimeksiantajan liiketoiminnalle.

Avainsanat: imuohjaus, 3D-layout, suunnittelu, kanban, Visual Components -ohjelmisto

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: School of Technology

Degree programme: Mechanical Engineering

Specialisation: Automotive and Work Machine Engineering

Author: Matias Rannila

Title of thesis: Layout plan for a door welding shop suitable for pull production

Supervisor: Heikki Heiskanen

Year: 2020

Number of pages: 65

Number of appendices: 14

The purpose of the thesis was to create a basis for the development of a door welding shop by designing a pull production system and layout options based on this system with Visual Components software. The theoretical section of the thesis aimed to give an understanding of layout design, Visual Components software, lean philosophy, the basics of production control and material management.

The thesis was made for Fortaco Ostrobothnia Oy in Kurikka. The Kurikka site manufactures cabins for heavy duty machinery and employs approximately 250 people.

The project was started by modeling a base of the welding shop with Visual Components software and by studying the initial situation. The planning was started with the pull production system, and the layout options were based on this system. Because of the pull production system, material management had to be redesigned. In addition to the project team, welders and warehouse workers were involved in influencing the outcome of the project.

The result of the project was a visual and simple rails-based pull production system that appealed to all parties. With pull production, doors would only be made for real need, and finished door buffer stocks would not be created, which was waste according to lean philosophy. Simultaneously, time and resources would be saved by not planning production and manufacturing doors in advance. Five layout alternatives were created with small variations. Several options achieved additional space for door welding production, which would provide space for new products and enable concentration of door welding in one place. The layout options had many improvements compared to the present layout such as improved material flows and more uncluttered production by creating custom locations for door welding jigs. In addition, two intermediate storage methods were designed for the door welding shop based on FIFO principle to enable the pull production system and to replace the previous cart-based material management system. Paragraphs 7,8 and all attachments are encrypted in the public version, as their publication could endanger the company business.

Keywords: pull, production, 3D-layout, planning, kanban, Visual Components software

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	1
Thesis abstract	2
SISÄLTÖ.....	3
Kuva- ja kuvioluettelo	5
Käytetyt termit ja lyhenteet	6
1 JOHDANTO.....	8
1.1 Työn tausta	8
1.2 Työn tavoite.....	9
1.3 Työn rakenne	9
1.4 Yritysesittely	10
2 LAYOUT-SUUNNITTELU	13
2.1 Layout-suunnittelun tavoitteet	13
2.2 Layout-tyypit.....	14
2.2.1 Tuotelayout	15
2.2.2 Prosessilayout.....	16
2.2.3 Solulayout	17
2.3 Layout-vaihtoehtojen arviointi.....	18
2.4 Visual Components	18
2.5 Layout-suunnittelun ja optimoinnin kulku Visual Components -ohjelmalla	19
2.5.1 Valmistusmallin määrittely.....	20
2.5.2 Laitteiden valinta	20
2.5.3 Alustava layout-malli	22
2.5.4 Virtauksen määrittäminen	23
2.5.5 Mallin vahvistaminen.....	24
2.5.6 Layoutin optimointi	25
3 LEAN-FILOSOFIA.....	27
3.1 Lean-ajattelu ja tuotanto.....	27
3.2 Lean-menetelmät	27
3.3 Kahdeksan hukan muotoa.....	28
3.4 JIT-toimintamalli	29

3.5	JIT-toimintamallin tavoitteet.....	31
4	VALMISTUKSEN OHJAUS JA MATERIAALINHALLINTA.....	33
4.1	Työntö- ja imuohjaus.....	33
4.2	Kanban.....	36
4.3	Yhden kortin kanban-järjestelmän säännöt.....	38
4.4	Materiaalin- ja varastonhallinta.....	39
4.5	Varastot.....	39
4.5.1	Tuotannon yleisiä varastotyyppisiä.....	39
4.5.2	Varaston ohjaus.....	40
4.5.3	FIFO- ja LIFO-periaatteet.....	41
5	ALKUTILANTEEN KARTOITUS JA 3D-LAYOUTIN PIIRTO.....	42
5.1	Nykytilanne.....	42
5.2	Hitsaamon 3D-layoutin nykytilan piirto.....	43
5.3	Hitsauskiinnittimien mallinnus.....	44
5.4	Ovihitsaamoon tutustuminen.....	45
6	IMUOHJAUKSEN JA LAYOUTIN SUUNNITTELU.....	46
6.1	Suunnittelun eteneminen.....	46
6.2	Materiaalinhallinnan ja välivaraston suunnittelu.....	46
7	TULOKSET.....	48
8	JOHTOPÄÄTÖKSET JA SUOSITUKSET.....	49
9	YHTEENVETO.....	50
	LÄHTEET.....	53
	LIITTEET.....	55

Kuva- ja kuvioluettelo

Kuva 1. Ohjaamoiden kokoonpanolinja Kurikassa	12
Kuva 2. Makita LD050P laseretäisyysmittari	43
Kuva 3 Näkymä Visual Components Professional -ohjelmistosta	44
Kuvio 1. Fortaco Group-konsernin toimipaikat ja osaamisalueet.	11
Kuvio 2. Prosessi- ja tuotelayoutin piirteet.	15
Kuvio 3. Tuotantolinja eli tuotelayout.	16
Kuvio 4. Funktionaalinen layout eli prosessilayout.	17
Kuvio 5. Solulayout.	18
Kuvio 6. Visual Components -ohjelman eCatalog.	22
Kuvio 7. Kahdeksan hukan muotoa.	29
Kuvio 8. Työntö- ja imuohjauksen periaate.	36

Käytetyt termit ja lyhenteet

Asetusaika	Aika, joka kuluu prosessin tai koneen valmisteluun, ennen kuin ollaan valmiita aloittamaan uuden tuotteen tai palvelun tekeminen.
FIFO-periaate	(First In First Out). Menetelmä, jonka mukaan tavarat kuluetaan varastosta siinä järjestyksessä kuin ne on sinne tuotu.
Hitsausjigi	Tarkoittaa hitsauskiinnitintä, jota käytetään hitsauksessa työkaluna helpottamaan ja vakioimaan hitsausta sekä siihen liittyviä toimenpiteitä.
JIT-toimintamalli	Tehokas ja yksinkertainen tapa poistaa hukkaa vähentämällä ylimääräistä kapasiteettia tai varastoja ja poistamalla arvoa tuottamattomia toimintoja.
Kanban	Tarkoittaa korttijärjestelmää, jonka avulla ohjataan tuotannon kulkua tehtaan läpi.
Layout	Kuvaa tuotantotilojen kiinteiden osien, kuten laitteiden, koneiden, varastopaikkojen ja kulkureittien sijoittelua.
Lean	Toyotan luoma kehittämisen työkalu, jonka mukaan asiakkaalle tuodaan lisäarvoa poistamalla hukkaa omasta toiminnasta.
Läpimenoaika	Tarvittava aika tilauksen vastaanottamisesta tuotteen toimittamiseen asiakkaalle.
Prosessi	Kuvaa toimenpiteiden ketjua, joka tuottaa määritellyn lopputuloksen.
Puskuri	Varasto, jota käytetään varmistamaan toimituskyvyn ja palvelutason ylläpitoa.

Työmääräin	Käytetään tuotannossa määrittelemään suoritettava työvaihe tai valmistettava tuote. Sisältää tarvittavat tiedot työvaiheen tai tuotteen valmistukseen.
Valmistusketju	Kaikki tuotteen valmistukseen tarvittavat vaiheet alkaen tilauksesta ja päättyen toimitukseen.
Virtaus	Materiaalien, komponenttien, tuotteiden ja tiedon virtausta tuotantoprosessissa.
Visual Components	Ohjelmisto, jonka avulla voidaan luoda 3D-layouteja sekä simuloida tuotantoprosesseja.
WIP	(Work-In-Process). Keskeneräinen osa tai työ tuotantoprosessissa.

1 JOHDANTO

1.1 Työn tausta

Tämän työn tarkoituksena on suunnitella imuohjausjärjestelmä ja 3D-layout ovihitsaamoon Kurikkaan Fortaco Ostrobothnia Oy:lle. Yrityksessä on ollut tarkoituksena lisätä imuohjauksen määrää tuotantoprosessissa perinteisen työntöohjauksen tilalle. Imuohjausjärjestelmä on tarkoitus toteuttaa volyymituotteille, sillä niiden kohdalaisen tasainen tilauskanta mahdollistaa imuohjauksen käytön. Tuotantoon tulossa olevat uudet tuotteet aiheuttavat painetta jo valmiiksi ahtaisiin tuotantotiloihin, joten haluna on myös saada lisää tuotantotilaa ovihitsaukseen. Yrityksessä on ollut myös haluna keskittää ovihitsausta samaan paikkaan hitsaamossa, sillä tällä hetkellä ovien hitsausta on ripoteltuna ympäri hitsaamoa. Hitsauksen keskittäminen yksinkertaistaisi ovihitsauksen tuotantoa. Hitsaamossa on myös ongelmana hitsauskiinnittimien eli jigien varastointi. Nykyisessä layoutissa ei olla huomioitu jigien varastointia, kun ne eivät ole käytössä. Tämän vuoksi niitä säilytetään epämääräisissä paikoissa ja niiden hakemiseen kuluu ylimääräistä aikaa tuotannossa. Uudessa layoutissa on otettava tämä asia huomioon.

Yrityksessä on tällä hetkellä menossa myös kokeilu ovien maalaukseen ohjaamorunkojen kanssa. Kokeilua on toteutettu vasta yhden ohjaamomallin kanssa, mutta tarkoituksena on tulevaisuudessa maalata mahdollisimman monen ohjaamon ovi ohjaamon kanssa. Ennen ovet on valmistettu ja maalattu erikseen neljän kappaleen sarjoissa. Ovien maalaus ohjaamorunkojen kanssa vapauttaisi maalaamon kapasiteetista huomattavan määrän ja tämän työn yhtenä osa-alueena on huomioida tämä ovihitsaamon layout-suunnittelussa.

Imuohjauksen myötä muodostuu myös tarve uudelle materiaalinhallinnan tavalle ovihitsaamossa, koska ovia ei enää tulla valmistamaan volyymituotteiden osalta neljän kappaleen sarjoissa, vaan yksi kerrallaan. Osat ovat ennen keräilty näissä neljän sarjoissa kärryjen avulla ovihitsaamoon. Tämä ei enää imuohjauksen myötä onnistuisi, koska ovia valmistetaan yksi kerrallaan satunnaisessa järjestyksessä.

1.2 Työn tavoite

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on suunnitella yksinkertainen ja tehokas imuohjausjärjestelmä ovihitsauksen volyymituotteille, joka selkeyttäisi ovihitsaamon tuotantoa ja vähentäisi hukkaa tuotannossa. Toisena tärkeänä tavoitteena on suunnitella layout-vaihtoehtoja ovihitsaamoon, jotka tukevat kyseisen imuohjauksen toimintaa ja mahdollistavat sen toteutuksen. Layout-vaihtoehtoja pyritään suunnittelemaan useampia hieman erilaisilla ominaisuuksilla, joista toimeksiantaja pystyy valitsemaan parhaimmat ja mieluisimmat ominaisuudet.

Layout-suunnittelussa tärkeimpinä asioina pidetään imuohjauksen lisäksi tuotannon virtausta, materiaalinhallintaa, työtyytyväisyyttä- ja turvallisuutta, ovihitsaamon tuotannon pinta-alan kasvattamista, koska siten saadaan tilaa uusille tuotteille sekä muille tuotteille, jotka eivät vielä ole keskitettyinä ovihitsaamoon. Tavoitteena on myös ottaa hitsauskiinnittimien eli jigien käyttö ja varastointi huomioon layouteissa, jotta ne saisivat selkeät paikat tuotannossa.

Materiaalinhallinnan osalta pyritään FIFO-toimintaperiaatteeseen (First In First Out). Sen mukaisesti osia kulutetaan samassa järjestyksessä, kun niitä tuodaan. Tavoitteena on suunnitella välivarasto volyymituotteiden osille ovihitsaamoon, joka vähentää nykyisiä keräilykärryjä, jotka ovat tiellä tuotannossa. Välivaraston tulee olla helppo käyttää sekä hitsarin että varaston täyttäjän eli keräilijän näkökulmasta.

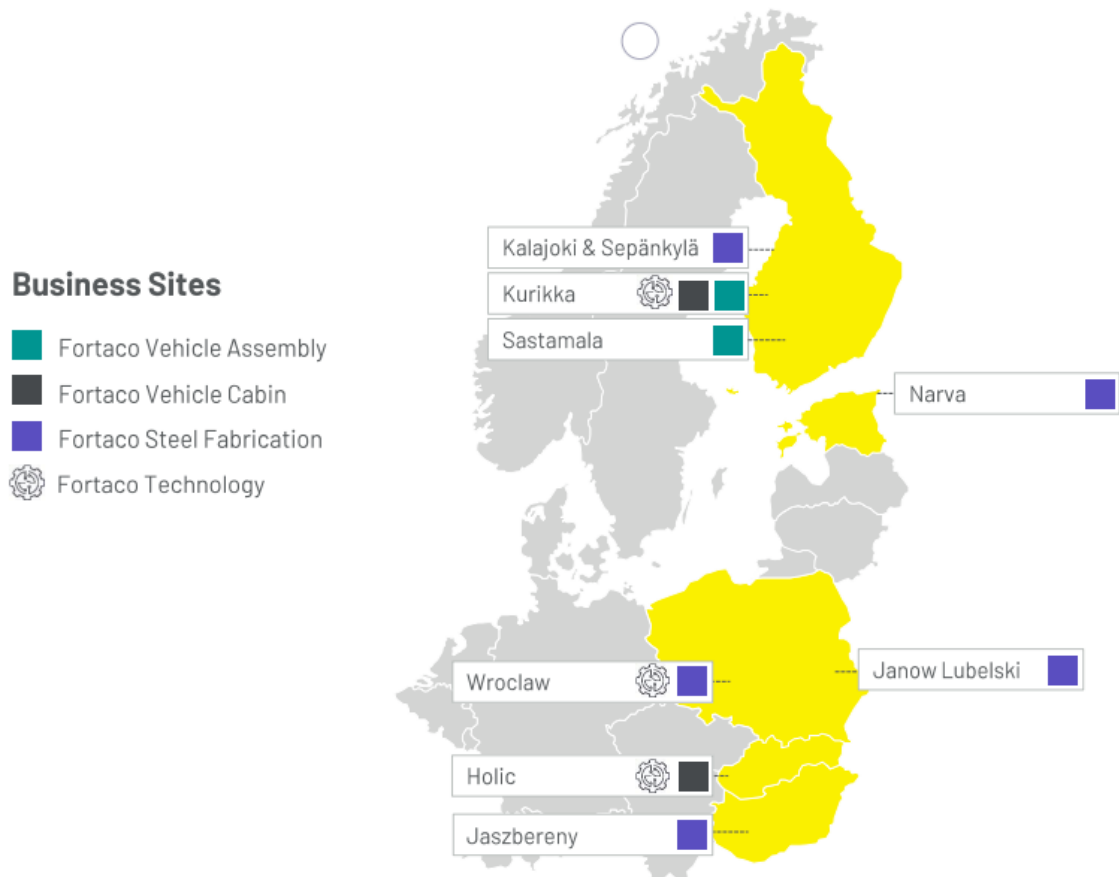
1.3 Työn rakenne

Luvuissa kaksi, kolme ja neljä käydään läpi teoriaa opinnäytetyön pohjaksi. Luvussa kaksi käsitellään layout-suunnittelua ja sen tavoitteita sekä layout-tyyppejä. Luvun lopussa on vielä kerrottuna työssä käytetystä Visual Components -ohjelmistosta ja sen tyypillisestä käyttöprosessista 3D-layoutin suunnittelussa. Tämän jälkeen siirrytään lukuun kolme, jossa on kerrottaan lean-ajattelusta ja sen menetelmistä tuotannon tehostamiseen ja hukkan poistamiseen. Luvussa neljä kerrotaan valmistuksen ohjauksesta ja materiaalinhallinnasta. Tässä luvussa on eriteltyä työntö- ja imuohjaus, kanban-järjestelmä, materiaalin- ja varastonhallinta sekä varastot. Luvussa käydään läpi projektin alkuvaihe, joka sisältää alkutilanteen kartoituksen ja 3D-

layoutin pohjan piirtämisen hitsaamosta. Seuraavaksi siirrytään lukuun kuusi, jossa kerrotaan itse suunnitteluprosessista ja sen vaiheista. Luvussa seitsemän käydään läpi saavutetut tulokset. Luvussa kahdeksan pohditaan suunnitteluprosessia ja saavutettujen tulosten hyötyjä yritykselle sekä luodaan suositukset tulosten pohjalta. Luvut seitsemän ja kahdeksan ovat salattuja julkisessa versiossa, sillä niiden julkaisu saattaa vahingoittaa tai olla vaaraksi toimeksiantajan liiketoiminnalle. Lopuksi luvussa yhdeksän kerrataan yhteenveto tästä opinnäytetyöstä.

1.4 Yritysesittely

Fortaco Ostrobothnia Oy on Fortaco Group-konserniin kuuluva yhtiö, jonka toimipaikkoina ovat Kurikka ja Sastamala. Henkilöstöä Kurikassa on noin 250 ja Sastamalassa 100. Yhteensä koko konserni työllistää yli 2600 henkilöä ja sillä on toimipaikkoja Suomessa, Virossa, Puolassa, Slovakiassa ja Unkarissa. Fortaco Group on yksi Euroopan suurimmista konepajateollisuuden sopimusvalmistuskumppaneista ja sen osaaminen on jaettu ajoneuvojen kokoonpanoon, ohjaamoiden valmistukseen, teräsvalmisteiden valmistukseen ja teknologiaan, joka tarjoaa tuotekehitystä ja valmistustekniikkaa. Kuviossa 1 on kartta Fortaco Groupin toimipaikoista ja osaamisalueista. (Fortaco 2019.)



Kuvio 1. Fortaco Group-konsernin toimipaikat ja osaamisalueet (Fortaco 2019).

Kurikan toimipaikassa valmistetaan työkoneiden ohjaamoita sarjatuotantona ja räätälöitynä. Ohjaamoita tehdään moniin eri työympäristöihin kuten metsiin, kaivoksiin, satamiin ja varastoihin.

Kurikan yksikön toiminta alkoi jo vuonna 1936 ja vuosien varrella siellä on aiemmin valmistettu mm. hevoscärryjä, moottorikelkkoja, traktorin peräkärryjä ja metsäkooneita. Omistajia on ollut useita ja vuodesta 2012 lähtien Kurikan tehdas on kuulunut Fortaco Group-konserniin. (Cabin development and manufacturing in Kurikka 23.4.2018.) Kuvassa 1 on esitetty ohjaamoiden kokoonpanolinja Kurikassa.



Kuva 1. Ohjaamoiden kokoonpanolinja Kurikassa.

2 LAYOUT-SUUNNITTELU

Termi layout tarkoittaa tuotantojärjestelmän fyysisten osien, kuten laitteiden, koneiden, varastopaikkojen ja kulkureittien sijoittelua tehtaassa (Haverila ym. 2009, 475).

Layout-suunnittelu on tärkeää kolmesta perussyystä:

1. Layoutit vaativat huomattavia vaivaa ja rahaa koskevia investointeja
2. Niihin sisältyy pitkäaikaisia sitoumuksia
3. Niillä on merkittävä vaikutus tuotannon kustannuksiin ja tehokkuuteen (Stevenson 2009, 249.)

Layout-suunnittelun tarve syntyy sekä uusien tilojen suunnittelussa että olemassa olevien tilojen uudelleensuunnittelussa. Yleisimpiä syitä layoutin uudelleensuunnitteluun ovat tuotantoprosessien tehottomuus (esim. suuret kustannukset tai pullonkaulat), työtaturmat tai turvallisuusriskit, palvelu- tai tuotemuutokset, uudet palvelut tai tuotteet, muutokset tuotantomäärissä, laitteiden tai työmenetelmien muutokset ja lainsäädäntö. (Stevenson 2009, 249.)

2.1 Layout-suunnittelun tavoitteet

Layout-suunnittelussa tärkeimpänä kohtana on materiaalivirrat. Materiaalien kuljetusmatkat ja -kerrat on pyrittävä minimoimaan osastojen ja työpisteiden sijoittelua suunniteltaessa. Tuotannonohjauksen ja toiminnan kehittämisen kannalta on tärkeää pyrkiä selkeisiin materiaalivirtoihin. Työpisteet tulisi sijoittaa siten, että materiaalien kuljetusmatkat olisivat mahdollisimman pienet. (Haverila ym. 2009, 482.)

Hyvä layout sisältää seuraavat ominaisuudet:

- Selkeät materiaalivirrat
- Helposti muutettavissa ja on joustava
- Pieni materiaalien siirtotarve

- Lyhyet kuljetusmatkat
- Eritysosaamista vaativa valmistus on keskitetty samaan paikkaan
- Tehtaan sisäiset palvelut ovat sijoitettu käyttöpaikan lähelle
- Materiaalien vastaanotto ja jakelu on tehokasta
- Sisäinen kommunikaatio on helppoa
- Eri valmistusvaiheiden erityistarpeet on otettu huomioon
- Kaikki tila on tehokkaasti käytetty
- Työturvallisuus- ja tyytyväisyys on otettu huomioon (Haverila ym. 2009, 482.)

2.2 Layout-tyypit

Layoutit voidaan jakaa karkeasti kolmeen erilaiseen perustyyppiin. Nämä ovat prosessilayout, tuotelayout ja kiinteä layout. Tuotelayout edistää parhaiten toistuvaa prosessointia ja prosessilayouteja käytetään epäsäännöllisen prosessoinnin yhteydessä. Kiinteitä layouteja käytetään, kun valmistettavaa tuotetta ei voida siirtää ja työntekijät, materiaalit sekä laitteita siirretään tuotteen luokse tarvittaessa. Tämä on harvinaisempi layout-tyyppi ja sitä harvemmin käytetään tehtaissa. Viimeisenä on olemassa yhdistelmälayouteja, jotka ovat näiden perustyyppien yhdistelmiä. Yleisin tällaisesta yhdistelmästä on solulayout. Kuviossa 4 on esitettyä prosessi- ja tuotelayoutin yleisimmät ominaisuudet. (Stevenson 2009, 250.)

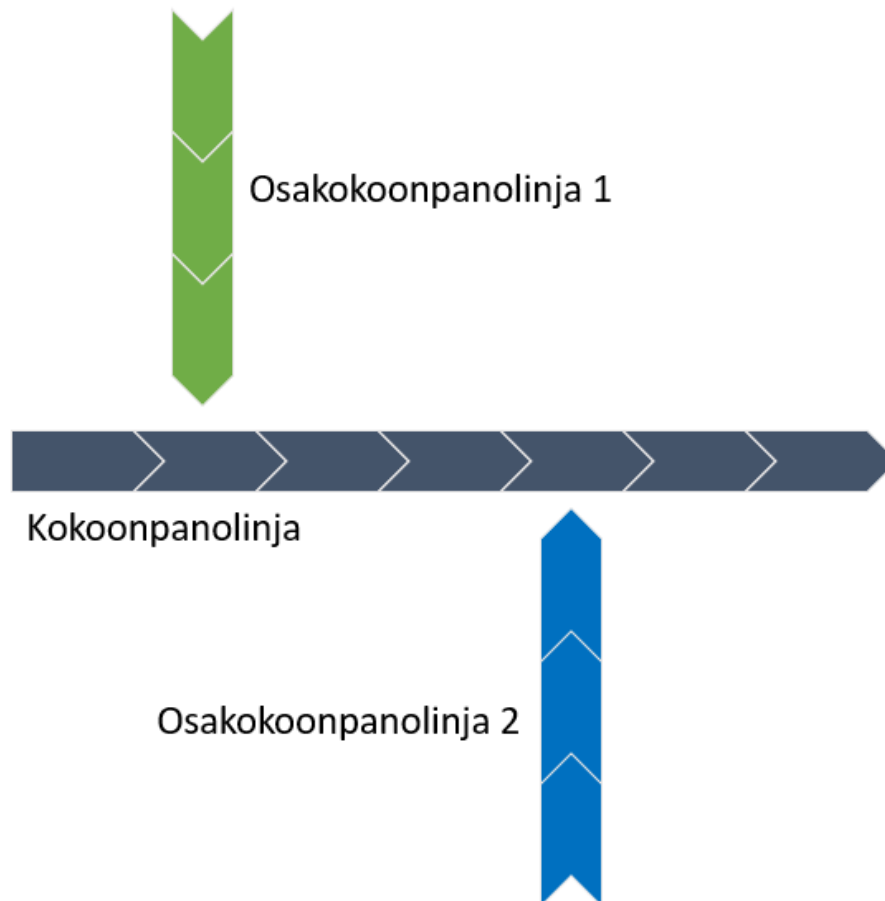
Prosessilayout	Tuotelayout
Suuret yksikkökustannukset	Pienet yksikkökustannukset
Paljon keskeneräisiä töitä	Vähän keskeneräisiä töitä
Joustava tuotepolitiikassa	Tiukka tuotepolitiikassa
Helppo rakentaa	Vaikea rakentaa
Ei ole häiriöaltis	Häiriöaltis
Tuotannonohjaus vaikeaa	Tuotannonohjaus helppoa
Joustava kapasiteetin lisäyksessä	Joustamaton kapasiteetin lisäyksessä
Kuormitusaste 60 - 90%	Kuormitusaste 80 - 90%

Kuvio 2. Prosessi- ja tuotelayoutin piirteet.

2.2.1 Tuotelayout

Tuotelayoutteja käytetään saavuttamaan sujuva ja nopea suurten materiaalien ja tuotteiden virtaus prosessien läpi. Tuotelayoutissa laitteet ja koneet on järjestetty tuotteen valmistusprosessin mukaisesti. Tämän tyyppisessä layoutissa valmistetaan yleensä vain yhtä tai kahta tuotetyyppiä. Tuotantolinja tai kokoonpanolinja on tyypillisin tuotelayout. (Stevenson 2009, 250.)

Tuotantolinja (Kuvio 2) on yleensä erikoistunut vain tietyn tuotteen valmistamiseen. Valmistus ja kappaleenkäsittely on tehokasta ja automatisoitua. Työnkulku on selkeää ja eri työvaiheiden välillä voidaan käyttää kuljettimia prosessin tehostamiseksi. Korkea kuormitusaste ja suuret tuotantomäärät ovat edellytyksenä tuotantolinjan perustamiselle. Suurien valmistusmäärien ansiosta tuotteen yksikköhinta on alhainen, vaikka tuotantolinjan rakentamisen kustannukset ovat suuret. Tuotantolinja sieittää todella huonosti häiriöitä ja ongelmia, koska pienikin häiriö voi pysäyttää linjan nopeasti. (Haverila ym. 2009, 475-476.)



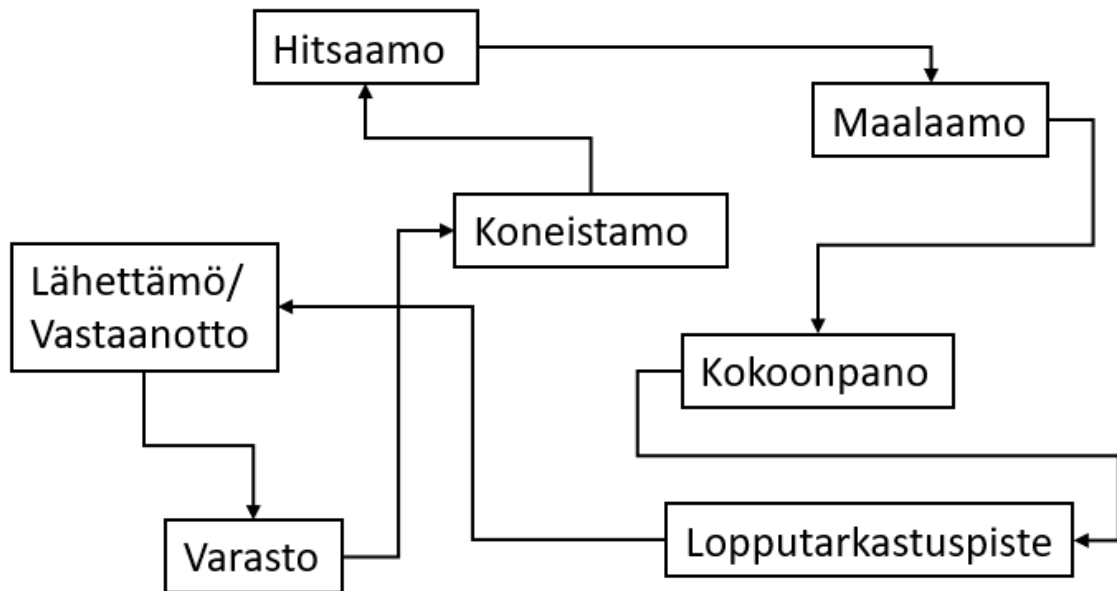
Kuvio 3. Tuotantolinja eli tuotelayout.

2.2.2 Prosessilayout

Prosessilayoutit on suunniteltu prosessoimaan tuotteita tai tarjoamaan palveluita, joihin liittyy erilaisia prosessointivaatimuksia. Käsiteltyjen töiden monipuolisuus vaatii laitteiden jatkuvia säätöjä tai niiden vaihtoa. Tämä aiheuttaa katkonaista työnkulkua. Prosessilayoutissa usein tuotantomäärät ovat pieniä ja tuotevariaatioita on useita. Kun puhutaan prosessilayoutista, se yhdistetään usein funktionaaliseen layoutiin (Kuvio 3). (Stevenson 2009, 250-251.)

Funktionaalinen layout on siis prosessilayout, jossa työpisteet ja laitteet on ryhmitelty työtehtävän samankaltaisuuden perusteella. Esimerkiksi kaikki maalaus tapahtuu maalaamossa ja hitsauspaikat ovat hitsaamossa. Funktionaalisessa layoutissa tuotantomäärät ja tuotevariaatiot voivat vaihdella huomattavasti. Koneet ja laitteet ovat yleensä monipuolisia yleiskoneita, joilla voidaan valmistaa joustavasti erilaisia

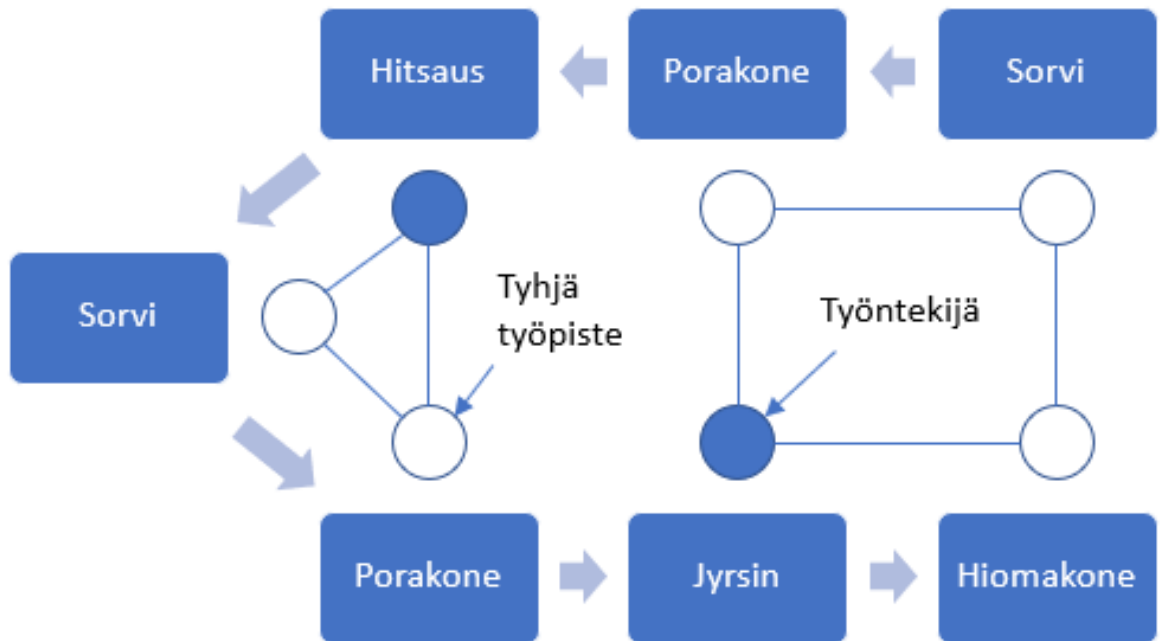
tuotteita. Tuotteita valmistetaan sarjoina tai yksittäiskappaleina. Toisistaan poikkeavien työprosessien takia materiaalinkäsittelyyn voidaan soveltaa automaatiota hyvin rajoitetusti. (Haverila ym. 2009, 476.)



Kuvio 4. Funktionaalinen layout eli prosessilayout.

2.2.3 Solulayout

Solulayout (Kuvio 5) on näiden päätyyppien yhdistelmä ja siinä työpisteet on ryhmitelty soluiksi (Stevenson 2009, 255). Eli laitteista ja työpisteistä koostetaan itsenäinen ryhmä, joka on erikoistunut tiettyjen osien valmistamiseen tai työvaiheiden suorittamiseen. Solujen läpäisyajat ovat huomattavan lyhyet funktionaaliseen layoutiin verrattuna. Materiaalivirta on paljon selkeämpi eikä siinä esiinny välivarastoja. Solu pystyy valmistamaan joustavasti niitä tuotteita, joiden valmistukseen se on suunniteltu. Asetusajat tuotevaihdosten aikana ovat lyhyet ja solu on joustavampi kuin tuotantolinja sekä tehokkaampi kuin funktionaalinen layout oman tuoteryhmänsä puitteissa. Eri tuotteiden tuotantomäärät ja eräkoot voivat vaihdella paljon ja tuotteita valmistetaan yksittäiskappaleina tai pieninä sarjoina. (Haverila ym. 2009, 477-478.)



Kuvio 5. Solulayout.

2.3 Layout-vaihtoehtojen arviointi

Hyötyarvomatriisia voidaan käyttää arvioimaan eri layout-vaihtoehtoja. Siinä annetaan kullekin arvioitavalle tekijälle painoarvo. Eri suunnitteluvaihtoehdot pisteytetään, jonka jälkeen pisteet kerrotaan painoarvolla. Eri vaihtoehtojen painoarvotetut pisteet summataan yhteen parhaimman vaihtoehdon määrittelemiseksi. Tästä matriisista on tehty yritykselle pohja ja esimerkki liitteessä 1. (Haverila ym. 2009, 482.)

2.4 Visual Components

Visual Components on tuotannon 3D-simulointiin ja layout-suunnitteluun tarkoitettujen ohjelmistojen tuottaja. Visual Components tarjoaa kolmea ohjelmistoa tuotannon eri tasoihin tarpeisiin. Nämä ohjelmistot ovat Essentials, Professional ja Premium. (Visual Components, [viitattu 21.1.2020].)

Essentials on näistä pelkistetyin, mutta se sisältää silti muun muassa layout-suunnittelun, prosessien mallinnuksen, CAD-yhteensopivuuden, yksinkertaista robotiik-

kaa, komponenttikirjaston, 2D-piirtämisen, tilastoja ja raportointia, tuen virtuaalito-
dellisuuteen sekä PLC-liitettävyyden eli ohjelmoitavan logiikan hyödyntämisen si-
muloinnissa. (Visual Components, [viitattu 25.1.2020].)

Professional ja Premium ohjelmat ovat hieman laajempia versioita, jotka antavat
lisää työkaluja suunnitteluun ja simulointiin. Molemmat ohjelmat sisältävät täysin Es-
sentials version ominaisuudet. Professional on näiden kolmen ohjelmiston välimalli,
joka tarjoaa lisäominaisuutena modeling-välilehden. Tällä välilehden työkaluilla pys-
tyy mm. tekemään yksinkertaista 3D-mallinnusta, komponenttien muokkausta sekä
geometrioiden yksinkertaistamista. Nämä ominaisuudet tuovat paljon monimuotoi-
suutta suunnitteluun ja simulointiin. Premium on näistä ohjelmistoista laajin, joka
sisältää Essentialsin ja Professionalin ominaisuuksien lisäksi kehittyneempää robo-
tiikkaa sekä virtuaalitodellisuutta. (Visual Components, [viitattu 21.1.2020].)

Visual Components -ohjelman käyttö auttaa suunnittelemaan älykkäämpiä ratkai-
suja ja parempia tuloksia tekniikan avulla, joka on varta vasten suunniteltu tuotan-
tolinjojen suunnitteluun. Ohjelma auttaa ennustamaan tuotannon suorituskykyä ja
projektien kriittiset virheet sekä erehdykset vähenevät varmempien tuloksien avulla.
Muutoksia voidaan testata ensin virtuaalisesti testaamalla ja simuloimalla, joka no-
peuttaa muutoksen implementointia ja minimoi seisokkiaikoja. Ohjelma myös pa-
rantaa tiimien yhteistyötä, koska havainnot ja suunnitelmat voidaan esittää visuaa-
lisesti. (Visual Components, [viitattu 26.1.2020].)

2.5 Layout-suunnittelun ja optimoinnin kulku Visual Components - ohjelmalla

Visual Components -ohjelmien käyttämä lähestymistapa layout-suunnitteluun ja op-
timointiin perustuu simulaatioon. Visual Components -ohjelmalla suunnittelu ja opti-
mointi koostuu yleensä seuraavista vaiheista: (Visual Components, [viitattu
26.1.2020].)

1. Valmistusmallin määrittely
2. Laitteiden valinta

3. Alustava layout malli
4. Määritä virtaus
5. Vahvista malli
6. Layoutin optimointi (Visual Components, [viitattu 26.1.2020].)

2.5.1 Valmistusmallin määrittely

Valmistusmallin määrittely sisältää projektin avaintekijät, kuten asiakkaan vaatimukset, myynnin odotukset ja tuotevalikoiman. Muita avaintekijöitä on tuoteryhmän määrittely ja tuotannon vaatimukset projektille, kuten tuotannon määrä ja läpimenoaika. (Visual Components 2019.)

Seuraava askel on määrittellä valmistusjärjestelmän rakenne. Tässä suunnittelijat määrittelevät yhteenvedon ja teoreettiset vaiheet sekä tarvittavat resurssit tuotteen valmistukseen. Tähän sisältyy puskurit, mahdolliset ohjaustavat, valinta ja määrittelmä toiminnallisista osajärjestelmistä sekä tuotannon periaate. (Visual Components 2019.)

Yksinkertaisuudessaan tämän vaiheen tavoitteena on määrittellä pääelementit layoutille eli tuotannon periaate ja strategia sekä tuotteen ja tuotannon vaatimukset. Nämä antavat pohjan seuraaville vaiheille. (Visual Components 2019.)

2.5.2 Laitteiden valinta

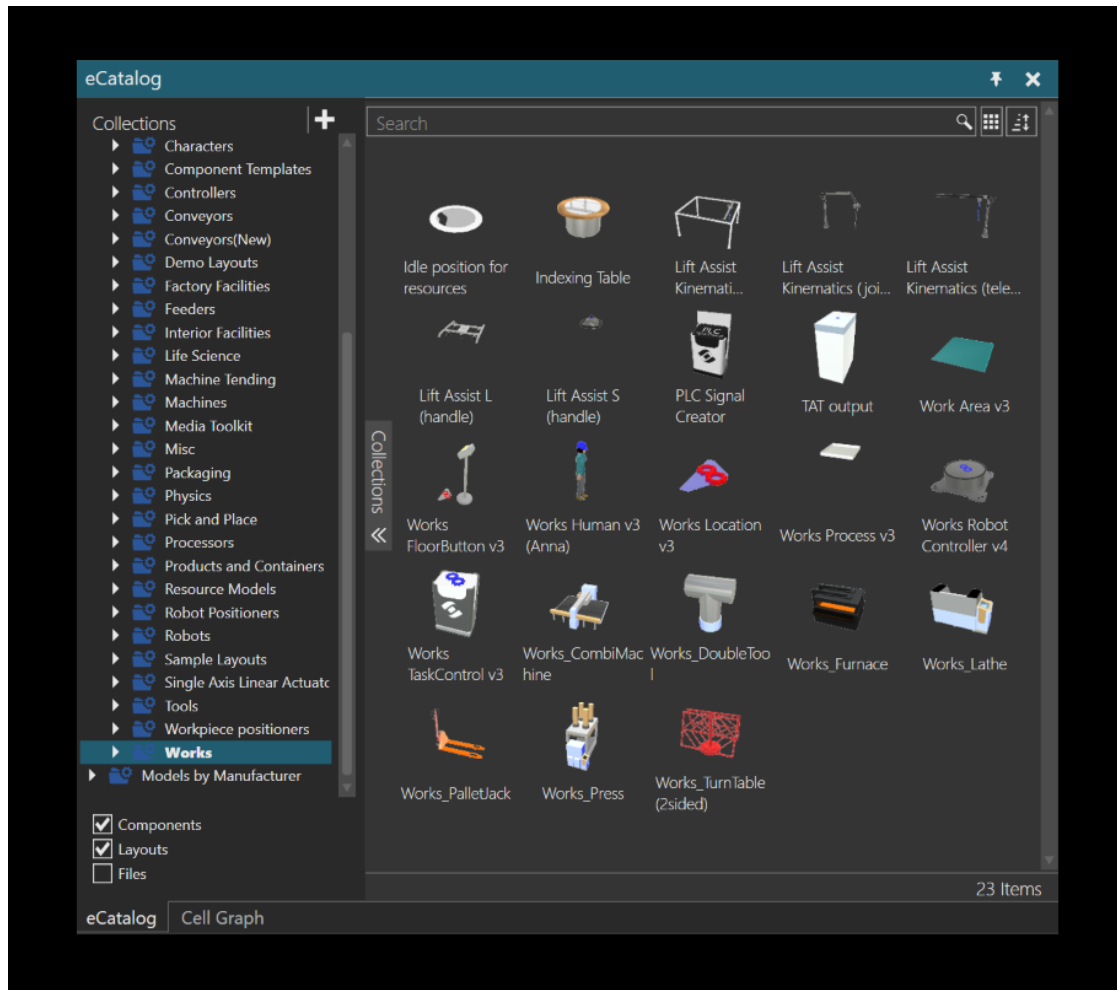
Usein seuraavana askeleena on laitteiston valinta, ainakin kriittisten tai arvokkaimpien laitteiden osalta. Valmistuksen ja materiaalinhallinnan lisäksi laitteiston pitää täyttää projektin taloudelliset tavoitteet, kuten sijoituksen tuottoaste ja kokonaiskustannus. Laitteen käyttöaste on myös toinen tarkasti seurattu tunnusluku, kun selvitetään hankinnan kannattavuutta. (Visual Components 2019.)

Organisaation budjetti ja hankintavaatimukset sekä laitetoimittajien valikoimat ja saatavuus voivat aiheuttaa laitteen hankinnalle laajan tai kapean valikoiman erilaisia

vaihtoehtoja. Joillakin projekteilla voi olla tiukkoja vaatimuksia käyttää vain tietyn valmistajan laitteita ja joskus on käytettävissä vain valmiiksi olemassa olevia laitteita. (Visual Components 2019.)

Projekteille, joilla on tiukat vaatimukset läpimenoajoille tai tilarajoitteita, saattaa olla tarpeen ensin virtuaalisesti tarkistaa layout ja työnkulku laitteistolla. Jos on olemassa useita eri laitteisto vaihtoehtoja niin kannattaa yrittää hankkia CAD-mallit kyseisistä laitteista. Ohjelmiston eCatalogista (Kuvio 6) eli komponenttikirjastosta voi myös tarkistaa onko laite sieltä saatavilla. Näin ohjelmaan saa tarkoilla mitoilla olevat mallit laitteistosta, kun suunnitellaan ja analysoidaan layoutia. (Visual Components 2019.)

Seuraavaksi arvioidaan laitteiden määrää. Yleisesti tavoitteena on saavuttaa projektin tavoitteet ilman, että laitteistoon haaskataan liikaa rahaa. Suunnittelijoiden tulee ottaa huomioon toiminnalliset näkökohdat, kuten tuotantomäärät, osanumeroiden määrä, työpisteiden asetusajat, suunniteltu seisokkiaika ja huollot, jotta saadaan arvioitua alustava laitteiden määrä. Tämä voidaan vahvistaa, kun työnkulkua simuloidaan. (Visual Components 2019.)



Kuvio 6. Visual Components -ohjelman eCatalog (Visual Components, [viitattu 25.2.2019]).

2.5.3 Alustava layout-malli

Yksi ensimmäisistä askeleista layout-mallin suunnittelussa on kehittää tarkka malli tilasta tai tehtaasta. 2D-piirrustukset ja pistepilvimallit ovat molemmat hyviä datalähteitä, jotka voidaan suoraan tuoda Visual Components -ohjelmaan. Vaihtoehtoisesti ohjelmalla voidaan mallintaa tila ohjelmiston yksinkertaisilla CAD-mallinnustyökaluilla. Jos myös tilan korkeus on tärkeänä piirteenä projektissa, niin on tärkeää mallintaa tila tarkasti kolmiulotteisena. (Visual Components 2019.)

Suuremmissa hankkeissa seuraava askel saattaisi olla tuotannon osastojen tai alueiden tilavaatimusten määrittäminen. Tuotantoalueiden kokoa voidaan arvioida

avainlukujen avulla (esim. 200 osan tuottamiseksi päivässä tarvitaan noin 500 neliön tilaa). Nämä tuotantoalueet tulisi suunnitella ja merkitä layouttiin. (Visual Components 2019.)

Alustavan layout-mallin suunnittelussa tavoitteena on laatia toimiva ja saavutettavissa oleva laitteiston ja resurssien layout, joka myötäilee valmistuksen virtausta. Laitteet on sijoitettava oikeaan asentoon ja suuntaan sekä työpisteet, kulkutiet, puskurit, jigit ja etäisyysvaatimukset olisi otettava huomioon suunnittelussa. Jos projektiin sisältyy ihmistyöntekijöitä, heidän tulisi myös sisältyä layoutiin. (Visual Components 2019.)

Visual Components -ohjelman avulla alustava layout-malli voidaan suunnitella käyttämällä komponentteja eCatalogista ja/tai CAD-tiedostoista, jotka voi tuoda suoraan ohjelmistoon. On yleistä käyttää vertailukelpoisia komponentteja eCatalogista edustamaan prosesseja ja laitteita, joilla ei ole merkittävää vaikutusta layoutin suunnittelussa, mutta jotka auttavat simuloimaan virtausta. CAD-malleja voidaan käyttää edustamaan jigejä ja laitteita, mutta ne eivät ole simulointivalmiita, ennen kuin niiden käyttäytyminen ja ominaisuudet on määritetty ohjelmistossa, joten ne ovat staattisia. Alustavan layoutin suunnittelussa on tavallista käyttää simulaatiovalmiita komponenttien ja CAD-geometrian yhdistelmää. Joidenkin projektien, etenkin robottisolu- jen, kohdalla on usein mahdollista suunnitella layouteja käyttämällä enimmäkseen eCatalogin komponentteja. (Visual Components 2019.)

2.5.4 Virtauksen määrittäminen

Valmistusvirtauksen määrittelyssä suunnittelijoiden on eriteltävä tuotantoprosessit, prosessien järjestys, vapaat tilat ja resurssit. Suunnittelijoiden tulee myös harkita seuraavaa: (Visual Components 2019.)

- Prosessiajat, eräkoot, ohjauslogiikka, laitteiden asetus- ja seisokkiajat sekä kunnossapito tulisi kaikki mallintaa.
- Ihmisten, trukkien ja pakettiautojen reitit tulisi määritellä.

- Järjestelmään tulevien osien syöttönopeudet (tai jakaumat) ja osien ja/tai resurssien prioriteettimääritykset tulisi tarkistaa.
- Prosessit, joissa on mukana satunnaisuus tai merkityksellinen variaatio (ts. Osien saapuminen, lastaus-/purkuajat, prosessiajat jne.) Nämäkin tulisi ottaa huomioon mallissa. (Visual Components 2019.)

Yhtenä tärkeänä näkökohtana on se, missä määrin fysiikka tulisi mallintaa simulaatioon. Osien materiaaliominaisuudet voivat vaikuttaa tärkeisiin päätöksiin, kuten eräkokoihin, laitteiden valintaan, käsittelytapoihin ja nopeuksiin/kiihtyvyyksiin. Jos on epäilyinä, että mallin osien ja resurssien vuorovaikutuksella voi olla merkittävä vaikutus niiden kinematiikkaan tai dynamiikkaan, on suositeltavaa määritellä niiden fyysiset ominaisuudet. Visual Components käyttää NVIDIAN PhysX-fysiikkamootoria, jonka avulla käyttäjät voivat simuloida ja visualisoida fyysisten voimien, kuten törmäysten, painovoiman ja materiaalien ominaisuuksien, vaikutusta toiminnallisuuteen. (Visual Components 2019.)

2.5.5 Mallin vahvistaminen

Mallin vahvistaminen tarkoittaa, että projektin sidosryhmät ovat hyväksyneet oletukset, toimintafilosofian, prosessin kulun, materiaalinhallinnan, syötetyn datan analyysin ja mallin parametrit. Sen tulisi ottaa huomioon muuttujat, logiikka, rajaolosuhteet ja erityistapaukset, jotka ohjaavat mallia ja tuloksia. Jos projekti korvaa olemassa olevan tuotantojärjestelmän, sitä voidaan käyttää myös lähteenä uuden tuotantojärjestelmän validointiin. (Visual Components 2019.)

Tärkeä näkökohta on varmistaa, että malli on tarpeeksi yksityiskohtainen. Esimerkiksi, jos aiot laajentaa lavapakkauksen solua suuressa pakkauslaitoksessa, saatat luoda mallin vain kyseisestä solusta ja alueesta sisällyttämättä ylä- ja alavirran prosesseja. (Visual Components 2019.)

Monissa robottisovelluksissa on tässä vaiheessa hyödyllistä suorittaa ulottuvuus-, törmäys- ja läpimenoaika-analyysit tarkasteltavana olevista robottimalleista. Jos silti mahdollisina vaihtoehtoina on monia eri robotteja, niin kannattaa varmistaa, että mallisi toimii eri robottivaihtoehtojen välillä. Tähän sisältyy oikean kokoisten robotin

työkalujen käyttö ja robottisolujen oikea mitoitus sekä, että robotti pystyy suorittamaan ohjelman ilman törmäyksiä. Todennäköisesti tässä vaiheessa joutuu tekemään useita muutoksia layouttiin ja/tai tuotannon virtaukseen, jotta saadaan toimiva layout-malli. Erityisesti projekteissa, joiden vaatimukset ovat haastavia, lopullinen malli voi näyttää täysin erilaiselta kuin alkuperäinen arvio. (Visual Components 2019.)

2.5.6 Layoutin optimointi

Vahvistetun mallin avulla voidaan suorittaa testejä optimointien löytämiseksi. Layoutit voidaan optimoida useiden parannusten saavuttamiseksi, kuten: (Visual Components 2019.)

- Tilan käytön vähentäminen
- Osien ja resurssien liikkumisetäisyyksiä
- Investointien vähentäminen resursseihin (Laitteet, työvoima jne.)
- Tuotteelle lisäarvoa tuottamattoman työn, hukan ja materiaalien käsittelykustannuksien vähentäminen
- WIP:in (Work-in-Process) eli keskeneräisen tuotannon vähentäminen ja varastojen minimoiminen
- Linjatasapainon parantaminen
- Joustavuuden parantaminen
- Työturvallisuuden parantaminen
- Laitteiden käyttöasteen lisääminen (Visual Components 2019.)

Parannukset, jotka voidaan toteuttaa layoutin optimoinnista voivat olla merkittäviä ja on olemassa monia esimerkkejä valmistajista, jotka ovat käyttäneet simulaatiota saavuttaakseen merkittäviä säästöjä uusissa tuotannon projekteissa. (Visual Components 2019.)

Joidenkin projektien tapauksissa, joissa tuotannon vaatimukset projektille ovat joustavammat, voidaan harkita useita eri layout-vaihtoehtoja. Useiden mallien avulla suunnittelijat voivat testata erilaisia tuotantoskenaarioita (esim. asiakaskysynnän vaihtelu, tuotevaihtoehtojen lukumäärä jne.) eri layout-vaihtoehtoja vastaan (esim. matala tai korkea automaatioaste). Tällöin jokainen vaihtoehto optimoidaan ja sen jälkeen paras vaihtoehto valitaan. (Visual Components 2019.)

3 LEAN-FILOSOFIA

3.1 Lean-ajattelu ja tuotanto

Lean-ajattelu tarkoittaa sitä, että asiakkaalle luodaan mahdollisimman paljon lisäarvoa minimikustannuksin, mikä saavutetaan minimoimalla resursseja, aikaa, energiaa ja vaivaa. Lean-ajattelu on alun perin suuntautunut Japanista Toyotan tehtailta, mutta nykypäivänä tämä ajattelutapa on tullut edustamaan vaihtoehtoista, ylivoimaista lähestymistapaa työn tekemiseen riippumatta siitä, mikä työ, toimiala tai organisaation koko on kyseessä. Lean-organisaatiossa ongelmat ovat mahdollisuuksia tarkoituksenmukaiseen oppimiseen eikä virheitä, jotka voidaan pyyhkiä maton alle tai nopeasti ratkaista. (Planet Lean, [viitattu 28.1.2020].)

Lean Production -käsite on lähtöisin MIT:n (Massachusetts Institute of Technology) tutkimuksesta 1980-luvulla, jossa havaittiin japanilaisten autonvalmistajien olevan huomattavasti tuottavampia kuin länsimaiset kilpailijansa. Toyotan tuotantojärjestelmän ylivoimaisuus on nyt tunnustettu fakta. Toyotan liikevoitto on ollut voittoisa melkein jokaisena vuotena viimeisen puolen vuosisadan ajan. Tämä on pistänyt eri valmistusorganisaatioiden ympäri maailmaa käyttämään Lean Production-valmistusta. (Planet Lean, [viitattu 29.1.2020].)

3.2 Lean-menetelmät

Lean-menetelmä tarkoittaa lean-ajattelutavan mukaista joustavaa työkalua, joka käyttää mahdollisimman vähän resursseja (esim. työntekijöitä, varastomääriä ja tehtaan lattian pinta-alaa). Lean-menetelmien tarkoituksena on saavuttaa suurempi tuottavuus, pienemmät kustannukset, lyhyemmät läpimenoajat ja korkea laatu. (Stevenson 2009, 693.)

Toisin sanoen lean-menetelmät ovat toimintajärjestelmiä, jotka maksimoivat kunkin yrityksen toiminnan lisäarvon poistamalla hukat ja viivästykset tuotannosta. Ne sisältyvät yrityksen toimintastrategiaan, prosessisuunnitteluun, laadunhallintaan,

layoutiin, toimitusketjuun ja materiaalinhallintaan sekä niitä voivat käyttää sekä palvelu- että valmistusyrietykset. Lean-menetelmät vaikuttavat yhtiön sisäisiin sidoksiin ydin- ja tukiprosessien välillä sekä ulkoisiin kytköksiin asiakkaiden ja toimittajien kanssa. (Krajewski, Malhotra, & Ritzman 2019, 237.)

3.3 Kahdeksan hukkan muotoa

Lean-menetelmien tavoitteena on siis poistaa hukkaa, tuottaa palveluita ja tuotteita vain tarpeen mukaan sekä parantaa jatkuvasti arvoa tuottavia toimintoja. Näitä hukkan muotoja on tähän mennessä luokiteltu kahdeksan erilaista tyyppiä, jotka ovat myös usein liittyvät toisiinsa (Kuvio 7). Näitä hukkan muotoja on lean-ajattelun mukaan huomattavasti vähennettävä tai kokonaan poistettava lean-menetelmien avulla. Kahdeksan hukkan muotoa ovat seuraavat: (Krajewski ym. 2019, 238.)

1. **Ylituotanto.** Esineen valmistus ennen kuin sitä tarvitaan. Tämä vaikeuttaa vikojen havaitsemista ja luo liiallisia läpimenoaikoja sekä varastoja.
2. **Yliprosessointi.** Liian kalliiden ja tarkkojen laitteiden käyttäminen, kun yksinkertaisemmat laitteet riittäisivät. Tämä johtaa kalliiden pääomavarojen liikkakäyttöön. Pienempiin ja joustavampiin laitteisiin investointi, moitteettomasti ylläpidetyt vanhemmat koneet ja prosessivaiheiden yhdistäminen tarvittaessa vähentävät yliprosessointiin liittyvää hukkaa.
3. **Odotus.** Tasapainottomat työasemat saavat työntekijät hukkaamaan aikaa, koska jos prosessivaihe kestää pidempään kuin seuraava, työntekijät joko odottavat tai suorittavat työn niin hitaasti, että heidän ei tarvitse odottaa. Odottamista voi myös tapahtua, kun edellisessä prosessivaiheessa on ongelmia, osa- tai tiedonpuute tai pitkä asetus aika.
4. **Kuljettaminen.** Tuotteen liiallinen liikkuminen ja materiaalinkäsittely prosessien välillä, mikä voi aiheuttaa vahinkoa ja tuotteen laadun heikkenemistä lisäämättä arvoa asiakkaalle.

5. **Liikkuminen.** Tarpeeton rasitus, joka liittyy taivutuksen, venytyksen, ulottumisen, nostamisen ja kävelemisen ergonomiaan. Liiallista liikkumista sisältävät työvaiheet tulisi suunnitella uudelleen.
6. **Varastointi.** Liialliset varastomäärät piilottavat tuotannossa esiintyviä ongelmia, vie tilaa, lisää läpimenoaikoja ja haittaa viestintää. Keskenpäisen työn eli WIP:n (Work-In-Process) varastomäärät aiheuttavat suoraan ylituotantoa ja odottamista.
7. **Virheet.** Laatuvirheet johtavat työn uudelleen tekemiseen, romutukseen ja ne aiheuttavat tuotantojärjestelmälle ylimääräisiä kustannuksia kapasiteetin menetyksen, aikataulun muuttamisen, lisääntyvän tarkastuksen ja huonontuneen asiakastytyvyyden takia.
8. **Hyödyntämätön potentiaali.** Yrityksen epäonnistuminen oppia ja hyödyntää henkilöstön tietämystä ja luovuutta haittaa pitkäaikaista pyrkimystä hukan poistamiseen. (Krajewski ym. 2019, 237.)

			
1. Ylituotanto	2. Yliprosessointi	3. Odotus	4. Kuljettaminen
			
5. Liikkuminen	6. Varastointi	7. Virheet	8. Hyödyntämätön potentiaali

Kuvio 7. Kahdeksan hukan muotoa.

3.4 JIT-toimintamalli

Yksi suosituimmista ja tyypillisimmistä lean-menetelmistä on JIT-toimintamalli (Just-In-Time System). Yhden Toyotan Lean-filosofian pioneerin Taiichi Ohnon mukaan JIT-toimintamalli on yksinkertainen, mutta tehokas tapa poistaa hukkaa eli ”mudaa”

vähentämällä ylimääräistä kapasiteettia tai varastoja ja poistamalla arvoa tuottamattomia toimintoja. (Krajewski ym. 2019, 237.)

JIT-toimintamalli organisoii resurssit, tietovirrat ja päätöksenteon säännöt, jotka antavat yritykselle mahdollisuuden ymmärtää JIT-toimintamallin hyödyt. (Krajewski ym. 2019, 238).

Nimensä mukaisesti JIT-toimintamallissa tarkoituksena on valmistaa osia ja tuotteita vain välittömän tarpeen verran. Tämä tarkoittaa, että JIT-toiminnassa toteutetaan pienerävalmistusta, jossa tuote-eriä valmistetaan toistuvasti pienin väliajoin. Tämän toimintamallin tehokkuus perustuu valmistettavan tuotteen nopeaan läpäisy-aikaan tuotantoprosessissa sekä toiminnan korkeaan laatuun. (Haverila ym. 2009, 361.)

Perinteisessä massatuotannossa tuotanto ja hankinnat toteutetaan mahdollisimman suurissa erissä kustannusten minimoimista varten. JIT-tuotannossa materiaalivirrat pyritään pitämään nopeina ja kapeina sekä välivarastointia pyritään välttämään, jos se on mahdollista. JIT-toimintamallin nopeuden ansioista tuotantoprosessissa pysytään nopeasti reagoimaan muuttuviin asiakastarpeisiin. Tuotevalikoiman ja mallivariaatioiden muutokset ovat näin helppoja hallita. (Haverila ym. 2009, 361.)

JIT-toimintamallin keskeisimpiä ominaisuuksia on suuri panostus toiminnan laadun kehittämiseen. Pienet välivarastot, lyhyet läpäisyajat ja toiminnan lyhyet aikajänteet eivät yksinkertaisesti mahdollista virheellisiä toimintoja. Eri valmistusprosessien tai toimintojen virheet pysäyttävät tuotannon hyvin nopeasti. (Haverila ym. 2009, 361.)

Tuotannossa, jossa ei ole välivarastoja, virheiden vaikutukset ovat erittäin suuret. Tästä syystä tuotannon kaikki osapuolet, työntekijät, toimittajat sekä alihankkijat ovat tiedostavat virheiden aiheuttamat vaikutukset ja näin pyrkivät ennakoimaan sekä estämään virheiden syntymisen. Yhtenä hyvänä puolena virheisiin liittyen JIT-toiminnassa on miten nopeasti virheet tulevat esille, jolloin niiden juurisyyt ovat nopeasti ja helposti selvitettävissä. JIT-tuotantoa on erittäin vaikea kehittää ilman henkilöstön sitoutumista laadun kehittämiseen sekä toiminnan korkeaa laatua. Suurimpia JIT-tuotannon etuja on massatuotantoa parempi toiminnan laatutaso, turhien tehtävien poistaminen, tuotantoprosessien jatkuva parantaminen sekä sitoutuneen pääoman väheneminen. (Haverila ym. 2009, 361-362.)

3.5 JIT-toimintamallin tavoitteet

JIT-toimintamallin periaatteet koostuvat ns. seitsemästä nollasta. Nämä seitsemän nolaa tarkoittavat täydellisyyttä, jota ei kuitenkaan pystytä täysin saavuttamaan tuotantoprosessissa. Korkean huippuosaamisen käsite on kuitenkin tärkeää toiminnan jatkuvan parantamisen kannalta. (Hopp & Spearman 2011, 157-158.)

- 1. Nolla vikaa.** JIT: n tuotantoprosessin häiriöiden välttämiseksi ympäristössä, jossa osia hankitaan vain tarvittaessa, on välttämätöntä, että osat ovat laadukkaita. Koska ylimääräistä varastoa ei ole, vika aiheuttaa viivettä. Siksi on välttämätöntä, että jokainen osa tehdään kerralla oikein. Ainoa hyväksyttävä vikataso on nolla, ja tuote ei voi odottaa tarkastuksia tarkastuspisteelle, vaan laadun on tapahduttava työpisteissä.
- 2. Nolla liiallista eräkokoa.** JIT-järjestelmässä tavoitteena on valmistaa tuotteita yksi erä kerrallaan, jos se on mahdollista. Näin saadaan pidettyä varastot mahdollisimman pieninä.
- 3. Nolla asetusta.** Yleisin syy suuriin eräkokoihin tuotantojärjestelmissä on suurien asetusajkojen olemassaolo. Jossain tapauksissa koneen asetus aika kestää useita tunteja siirryttäessä toisen osan valmistukseen. Tällöin ei ole järkevää siirtyä pieniin eräkokoihin, koska se pienentää kapasiteettia huomattavasti. Asetusajat pitäisi pyrkiä poistamaan kokonaan, jotta pystytään siirtymään mahdollisimman pieniin eräkokoihin.
- 4. Nolla konevaurioita.** Koska työvaiheissa ei ole ylimääräistä keskeneräistä työtä (WIP) puskuroimaan koneita katkosten varalta, konevauriot pysäyttävät tuotannon nopeasti koko linjalla. Siksi ihanteellinen JIT-ympäristö ei voi sietää suunnittelemattomia konevaurioita.
- 5. Nolla käsittely.** Jos osia valmistetaan täsmälleen vaadituissa ajassa ja määrässä, materiaalia ei saa käsitellä enemmän kuin on tarpeellista. Mitään ylimääräisiä siirtoja varastoon tai sieltä pois ei voida sietää. Ihanteellinen käsittelytapa on syöttää materiaalia suoraan työasemalta työasemalle ilman väli-

tauvoja. Mahdolliset lisäkäsittelyt johtavat siirtävät toimintaa pois JIT-toimintamallista, koska osat pitää tuottaa etuajassa, jotta käsittelyyn kulunutta aikaa voidaan kompensoida.

6. **Nolla läpimenoaika.** Kun täydellinen JIT-tuotanto tapahtuu, työasema pyytää osia ja ne toimitetaan välittömästi. Tämä vaatii syöttävältä työpisteeltä nolla läpimenoajan. Nolla läpimenoajan periaate on hyvin lähellä nollavarastojen tavoitetta.
7. **Nolla kuohunta.** JIT-ympäristössä, jossa osia tuotetaan vain tarpeen mukaan, materiaalin virtaus laitoksen läpi on tasainen niin kauan kuin tuotantosuunnitelma on sujuva. Jos tuotantosuunnitelmassa tapahtuu äkillisiä muutoksia määrissä tai tuotevalikoimassa (kuohuntaa tai aaltoja), koska järjestelmässä ei ole huomattavaa ylikapasiteettia, näihin muutoksiin on mahdotonta reagoida ja seurauksena on häiriöitä ja viiveitä. Tämän takia JIT-järjestelmässä tasainen tuotantosuunnitelma ja vakio tuotevalikoima ovat tärkeitä elementtejä. (Hopp & Spearman 2011, 157-158.)

4 VALMISTUKSEN OHJAUS JA MATERIAALINHALLINTA

Valmistuksen ohjauksen tehtäviä ovat työn suorittamisen yksityiskohtainen suunnittelu, työnjakelu, työtehtävien ohjaaminen, raportointi ja valvonta. Valmistuksen ohjauksen tehtävien vaikeuteen ja sisältöön vaikuttavat suuresti työtehtävien toistuvuus ja tuotantotilan layout. Ohjauksen näkökulmasta vaikeimpia ovat tilaustuotteet, joita valmistetaan yksittäin. Tällaisissa tapauksissa suunnittelun tarve on suuri. Valioktuotteiden jatkuva tasainen valmistus on helppoa, koska tehtävät ja määrät toistuvat samanlaisina. Ohjaukselta edellytetään tällöin kuitenkin erityistä tarkkuutta kustannusten minimoimiseksi. (Haverila ym. 2009, 425.)

Funktionaalisessa layoutissa valmistuksen ohjaus perustuu eri työpisteisiin ajoitettujen tuotantoerien ohjaamiseen. Valmistuksen sujuva ohjaus on työlästä, koska työpisteitä on paljon ja valmistustietojen reaaliaikainen ylläpito on tavallisesti hankalaa. Yleensä työtä ei ohjata aktiivisesti enää aloituksen jälkeen, vaan sen annetaan edetä omalla painolla tuotantoprosessissa. (Haverila ym. 2009, 425.)

Ainoastaan työn myöhästyminen pistää ohjaamaan työtä aktiivisesti eteenpäin. Soluissa ja tuotantolinjoissa työnhous on selkeää. Työn aloituksen jälkeen tuote etenee itsenäisesti linjan tai solun läpi. Ohjausepisteiden määrä on vähäinen verrattuna funktionaaliseen tuotantoon. Työnhous perustuu solu- tai linjakohtaisiin työmääriin. Ohjaus voi myös toimia työntö- tai imuperiaatteella. (Haverila ym. 2009, 425.)

4.1 Työntö- ja imuohjaus

Termejä työntö- ja imuohjaus käytetään kuvaamaan kahta erilaista järjestelmää töiden ohjaamiseen tuotantoprosessin läpi. Perinteisissä tuotantoympäristöissä käytetään työntöohjausta eli työn valmistuessa työpisteestä se työnnetään seuraavaan vaiheeseen tuotantoprosessissa. Imuohjausjärjestelmässä työn siirtäminen seuraavaan vaiheeseen tapahtuu seuraavasti: jokainen työpiste antaa signaalin edelliselle työpisteelle, kun siltä tarvitaan toimintoja. Tämän ansiosta imuohjauksessa valmistusta ja työtä tehdään vain todelliseen tarpeeseen. Työntöohjauksessa ei oteta huomioon prosessin seuraavan vaiheen valmiutta uuteen työhön. Tämän seurauksena

töitä voi kasaantua eri työpisteiden välille esimerkiksi häiriöiden tai laatuongelmien takia. (Stevenson 2009, 711.)

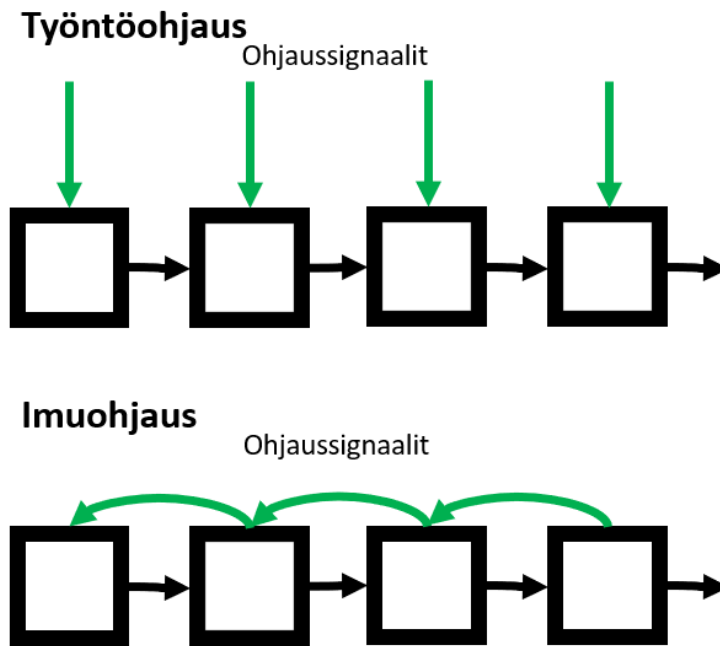
Imuohjauksen valmistusketjussa viestintä liikkuu lopusta alkuun päin. Jokainen työpiste (ts. sisäinen asiakas) ilmoittaa uuden työn tarpeesta edellisen vaiheen työpisteelle varmistaen siten, että tarjonta vastaa kysyntää. Siten työ siirtyy JIT-filosofian mukaisesti juuri ajoissa prosessin seuraavalle vaiheelle. Näin työnkulkua koordinoidaan ja vältetään liiallisen varastojen kertyminen vaiheiden välille. Tässä kuitenkin pitää muistaa, että toiminnot prosessissa eivät ole välittömiä, joten pieni välivarastointi on yleensä välttämätöntä. Jos vaihe saisi ohjausimpulssin vasta, kunnes seuraava vaihe on tehnyt työnsä loppuun tällöin seuraavan vaiheen olisi odotettava edellisen vaiheen suorittavan työnsä loppuun. Siksi jokainen vaihe tuottaa juuri tarpeeksi työtä, joka vastaa seuraavan vaiheen odotettua kysyntää.

Tämä saavutetaan pistämällä seuraava työvaihe ilmoittamaan tarpeensa riittävän ajoissa, jotta edellinen vaihe pystyy suorittamaan työn valmiiksi juuri oikeaan aikaan. Toisena vaihtoehtona on pitää vaiheiden välillä pientä puskuria. Kun puskurin määrä laskee tietylle tasolle, tämä antaa signaalin edelliselle vaiheelle tuottaa tarpeeksi työtä puskurin täydentämiseksi. Puskurin koko riippuu edellisen työvaiheen läpimenoajasta. Jos läpimenoaika on lyhyt, vaihe tarvitsee pienen puskurin tai ei ollenkaan. Läpimenoajan ollessa pitkä, se tarvitsee suuremman määrän puskuria. Tuotanto tapahtuu silti tässäkin tapauksessa vain seuraavan työvaiheen tarpeeseen. Imuohjaus ei välttämättä sovellu kaikkiin valmistusprosesseihin, koska ne edellyttävät melko tasaisen toistuvan työn virtauksen. Suuri vaihtelevuus tuotantomäärissä tai suuri tuotevalikoima heikentävät imuohjauksen toimivuutta. (Stevenson 2009, 711.)

Imuohjausperiaatteesta on olemassa monia erilaisia sovelluksia. Sitä käytetään usein toimittajien ja oman osavalmistuksen ohjauksessa. Imu- ja työntöohjausta voidaan käyttää myös rinnan tehtaissa. Esimerkiksi vakio-osien tai -osakokoonpanojen ohjauksessa. Kokoonpanon vakio-osien valmistus voidaan ohjata imuohjauksella, koska imuohjausta käytetään usein sen toimintavarmuuden vuoksi. Materiaalikirjanpidon virheet tai valmistuksenohjauksen ongelmat eivät häiritse imuohjausjärjestelmää. (Haverila ym. 2009, 423.)

Työntöohjauksella tarkoitetaan yleensä erillisen suunnittelijan tai suunnitteluorganisaation tekemää valmistussuunnitelmaa. Suunnitelmalla koordinoidaan ja ohjataan eri valmistusvaiheita ja ”työnnetään” tuotantoerä tuotannon läpi. Työntöohjaus on eniten käytetty ohjausmenetelmä ja se soveltuu kaikkiin tuotantomuotoihin. Se kuitenkin edellyttää selkeää ja hallittavissa olevaa valmistusprosessia, hyvää laatua ja kurinalaista toimintaa. Kuviossa 8 on esitettyä työntö- ja imuohjauksen toimintaperiaate. (Haverila ym. 2009, 422.)

Imuohjaus tarjoaa monenlaisia hyötyjä verrattuna työntöohjaukseen. Imuohjauksen käyttö vähentää merkittävästi hukkaa tuotannossa, koska ylituotantoa ei tapahdu. Tämän ansioista tuotantotiloissa vapautuu tilaa ja tämä vähentää ylimääräisestä varastoinnista syntyviä kustannuksia. Asiakastytyväisyys myös kasvaa, koska tuotteita valmistetaan erityisesti vain heidän tarpeeseensa. Tuotteita valmistetaan pieninä määrinä, laatuongelmat tunnistetaan nopeammin kuin työntöohjauksessa ja jos virhe löydetään, niin se on todennäköisemmin vielä korjattavissa eikä romuttamista tarvita. Imuohjaus säästää aikaa, joka muuten kuluisi suunnitellessa tulevaa kysyntää ja tuottamalla tuotteita, joita ei koskaan välttämättä voida myydä. Myös tuotannon joustavuus lisääntyy, koska imuohjauksessa voidaan nopeasti vastata kysynnän muutoksiin. Jokainen näistä imuohjauksen käytön eduista vähentää yrityksen kokonaiskustannuksia joko suoraan tai epäsuorasti, mikä johtaa parempaan tuottavuuteen. Tämän takia imuohjausta kannattaisi aina pyrkiä lisäämään tuotannossa työntöohjauksen tilalle, mikäli se on mahdollista. (Graphic Products, [viitattu 21.2.2020].)



Kuvio 8. Työntö- ja imuohjauksen periaate.

4.2 Kanban

Yksi tunnetuimmista lean-menetelmistä on Toyotan kehittämä kanban-järjestelmä. Kanban tarkoittaa japaniksi korttia, jota käytetään ohjaamaan tuotannon kulkua tehtaassa läpi. (Krajewski ym. 2019, 248.)

Kanban on siis imuohjaustekniikka, joka antaa luvan liikuttaa osia tai valmistaa niitä. Mitään osaa tai erää ei voida siirtää tai valmistaa ennen kuin kanban antaa siihen luvan. Kanbaneja on olemassa kahta päätyyppiä: (Stevenson 2009, 711.)

1. Valmistuskanban: antaa signaalin valmistaa osia tai tuotteita.
2. Kuljetuskanban: antaa signaalin kuljettaa osia tai tuotteita. (Stevenson 2009, 711.)

Kanban-järjestelmässä tuotannon käynnistää vasta kysyntä. Kun osa poistetaan varastopisteestä (valmiiden tuotteiden varasto tai jokin välituotevarasto), varastopistettä syöttävälle työpisteelle annetaan lupa korvata osa. Tämä työpiste lähettää sitten signaalin edelleen edeltävällä työpisteelle tuotantoprosessissa korvaamaan

juuri käyttämänsä osan. Jokainen työpiste tekee saman asian, täydentämällä seuraavan työpisteen tarpeita ja tilaamalla itselle uusia osia. (Hopp & Spearman 2011, 168-169.)

Kanban-järjestelmiä on monenlaisia erilaisilla variaatioilla, mutta yleisimmät järjestelmät ovat yhden kortin järjestelmä ja Toyotan käyttämä kahden kortin järjestelmä. Kahden kortin järjestelmä käyttää sekä valmistuskanbaneita että kuljetuskanbaneita. Kahden kortin järjestelmän perusmekaniikka on seuraava. Kun työpiste on käytettävissä uutta tehtävää varten, työntekijä ottaa seuraavan tuotantokortin laatikosta tai esimerkiksi korttitaulusta. Tämä kortti kertoo työntekijälle, että kyseistä osaa/osia tarvitaan myöhäisemmällä työpisteellä tuotantoprosessissa. Tämän jälkeen työntekijä ottaa välivarastosta tarvittavat osat ja siirtää niihin kiinnitetyn kuljetuskanbanin toiseen laatikkoon. Jos materiaaleja ei ole saatavana, työntekijä valitsee seuraavan vapaana olevan tuotantokortin. Aina kun työntekijällä on olemassa valmistuskortti ja tarvittavat osat, hän valmistaa tuotteen, kiinnittää valmistuskanbanin ja sijoittaa tuotteen valmiiden osien lähtevään varastoon. (Hopp & Spearman 2011, 168-169.)

Ajoittain varaston työntekijä tarkistaa kuljetuskanbaneita sisältävän pisteen ja poimii kortit. Hän hankkii korttien osoittamat materiaalit vastaavilta lähtevistä varastoista, korvaa heidän valmistuskanbanit kuljetuskanbaneilla ja siirtää ne sopiviin välivarastoihin. Poistetut valmistuskanbanit asetetaan työpisteille omille paikoilleen mistä ne saapuivatkin, joka taas toimii signaalina lähtevien varastojen täydentämiseksi. Toyotan kahden kortin järjestelmän ajatuksen takana on se, että työpisteiden ollessa hajallaan ei ole mahdollista saada osia välittömästi työpisteeltä toiselle. Siksi jokaisella työpisteellä on oma välivarasto, johon varastotyöntekijä tuo tavaraa sekä oma lähtevän tavaran varasto. Kuljetuskanbanit toimivat signaaleina varastotyöntekijöille siirtää tuotteet työpisteiden lähtevästä varastosta seuraavan työpisteen välivarastoon. (Hopp & Spearman 2011, 168-169.)

Kahden kortin järjestelmän etuna on se, että varastojen määrää pystytään tarkemmin hallita. Materiaaleja tai tuotteita ei voida kuljettaa ilman kuljetuskanbania ja tuotanto ei voi alkaa ennen valmistuskanbania. Näiden korttien määrää manipuloimalla voidaan hallita materiaalien virtausta tuotantoprosessissa. (Krajewski ym. 2019, 249.)

Yhden kortin järjestelmä on paljon yksinkertaisempi ja se voidaan toteuttaa, jos työpisteet ovat lähellä toisiaan. Tällöin käytetään ainoastaan valmistuskanbaneita. Perusidea toimii samana eli työntekijä tarvitsee osat ja valmistuskanbanin ennen kuin hän voi aloittaa työn. Yhden kortin järjestelmässä työntekijä toimittaa prosessin edelliseen vaiheeseen valmistuskanbanin eikä kuljetuskanbaneita käytetä. (Hopp & Spearman 2011, 170.)

Kanbanin ei tarvitse välttämättä olla kortti, vaan se voi esimerkiksi olla laatikko tai tila varastohyllyssä, mutta joka tapauksessa sen toimintaperiaate pysyy samana. (Burman 1995, 275).

4.3 Yhden kortin kanban-järjestelmän säännöt

Yhden kortin järjestelmän käytösäännöt ovat yksinkertaisia, ja niiden tarkoituksena on helpottaa materiaalien virtausta ylläpitämällä samalla varastojen tasoa. (Krajewski ym. 2019, 249.)

1. Jokaisessa osia liikuttavassa esineessä, esimerkiksi laatikossa tai kärkyssä on oltava kortti.
2. Osia imetään aina edeltävältä vaiheelta tuotantoprosessissa. Osia ei ikinä työnnetä eteenpäin, koska muuten ennemmin tai myöhemmin syntyy osia, joita ei vielä tarvita tuotantoon.
3. Osia ei saa koskaan kuluttaa ennen kuin toimittaa valmistuskanbanin edelliselle työvaiheelle.
4. Osia kuljettavien laatikoiden tulisi aina sisältää sama määrä osia. Epäsäännöllisesti määrät häiritsevät tuotannon virtausta.
5. Ainoastaan laadukkaita osia tai tuotteita tulisi kuljettaa valmistusprosessissa, jotta materiaalit ja työntekijän aika voidaan hyödyntää parhaalla mahdollisella tavalla. Tämä sääntö tärkeä ominaisuus Lean-filosofiassa, jonka mukaan laadun on tapahtuva lähteellä.

6. Kokonaistuotanto ei saisi ylittää järjestelmässä olevien kanban-korttien kokonaismäärää. (Krajewski ym. 2019, 249.)

4.4 Materiaalin- ja varastonhallinta

Materiaalinhallinnalla tarkoitetaan yrityksen puolivalmisteiden, raaka-aineiden ja lopputuotteiden hankinnan, varastoinnin, ja jakelun hallintaa. Materiaalinhallinnan kattaa yrityksen kaikkia materiaalivirtoja toimittajilta aina asiakkaalle asti. Nykypäivänä materiaalinhallinnassa pyritään minimoimaan varastojen koko sekä lyhentämään tilaus-toimitusprosessin aikajäniteitä. Näiden tavoitteiden toteuttaminen edellyttää materiaalitoimintojen tehokasta organisointia ja hallintaa. (Haverila ym. 2009, 443.)

4.5 Varastot

Tuote- ja materiaalivarastot ovat välttämättömiä melkein kaikille yrityksille. Varastoja tarvitaan toimituskyvyn turvaamisessa sekä tuotantoprosessin eri vaiheiden kytkennässä. Varastot ovat kuitenkin merkittävä kustannustekijä yritykselle. Varastoihin sitoutuu merkittävä määrä pääomaa sekä varastointi ja materiaalien käsittely aiheuttavat kustannuksia. Varastot muodostavat myös riskitekijöitä. Esimerkiksi tuote voi vanhentua varastossa teknisesti tai taloudellisesti. (Haverila ym. 2009, 445-446.)

4.5.1 Tuotannon yleisiä varastotyyppisiä

Yrityksen varastoissa ja tuotantotiloissa on nähtävänä runsaasti tuotteita, materiaaleja ja puolivalmisteita. Varastojen ohjauksen ja kehittämisen kannalta on hyödyllistä analysoida varastoja niiden käyttötarkoituksen kautta. Tuotannossa varastoja käytetään seuraavista syistä: (Haverila ym. 2009, 446-447.)

1. **Toimituskyvyn turvaavat varastot eli puskurivarastot.** Monesti tuotantoprosessin läpäisy aika on pidempi kuin asiakkaan toimitusaikavaatimukset.

Tällöin puskurivarastot auttavat toimituskyvyn ja palvelutason ylläpidossa. Puskurivarastoja käytetään myös satunnaisten menekinvaihteluiden tasoittamiseen. Materiaalipuskuri voi olla puolivalmiste-, tuote- tai materiaalivarastoissa. Tuotannon läpimenoajan lyhentäminen ja prosessin joustavuuden parantaminen vähentää puskurivarastojen tarvetta tuotannossa.

2. Työvaiheiden kytkemiseen käytetyt välivarastot. Välivarastoja tarvitaan eri työvaiheiden kytkemiseen toisiinsa. Eri vaiheilla on eri nopeus, jolloin keskeneräisiä tuotteita pitää varastoita tuotannon eri vaiheiden välillä. Välivarastot ovat sitä suuremmat, mitä enemmän valmistuksessa on erillisiä vaiheita. Varastoihin vaikuttaa myös työvaiheiden välimatka ja tuotetyyppien määrä. Välivarastot haittaavat valmistuksen läpimenoaika, sitovat pääomaa sekä kasvattavat laatuvirheiden määrää. Turhista välivarastoista tulisi pyrkiä päästä eroon.

3. Tuotantoprosessin ja toimintojen virheiden varalta pidettävät varastot. Toiminnan ja valmistuksen laatuvirheet peitetään helposti ylimääräisillä varastoilla. Virheen sattuessa voidaan turvautua varastoihin, jolloin välttyään suuremmilta tuotantohäiriöiltä ja toimituskykyongelmilta. Laatuongelmien hoitaminen ylimääräisillä varastoilla estää toiminnan kehittämisen ja niihin puuttumisen. Nämä varastot pitää ehdottomasti poistaa ja poistamisen tuloksena ilmenevät ongelmat tulee korjata. (Haverila ym. 2009, 446-447.)

4.5.2 Varaston ohjaus

Varaston ohjaus voidaan toteuttaa visuaalisella valvonnalla, joka perustuu määrän valvontaan varastointipisteessä. Täydennysimpulssi syntyy varaston tason alitettua ennalta määritellyn tason. Tämä soveltuu erityisesti halpoihin nimikkeisiin, jolla on tasainen menekki ja toimitusaika on lyhyt. (Haverila ym. 2009, 452.)

2-laatikko järjestelmä on yleisin visuaalisen valvonnan keinoja. Nimike, esimerkiksi mutteri, varastoidaan kahteen laatikkoon. Ensimmäisen laatikon tyhjentyessä otetaan toinen laatikko käyttöön. Kun toinen laatikko otetaan käyttöön, tehdään täydennystilaus viemällä laatikko tai sen sisältävä kortti täyttöpisteeseen. Laatikko sisältää

kortin, joka määrittelee ostettavan nimikkeen. Tyhjentyneen laatikon täydennysimpulssi voidaan siis toteuttaa kahdella tavalla eli joko kortti tai koko laatikko toimitetaan keräilypisteeseen. Kun materiaaleja on keräilypisteessä saatavilla, niin laatikko toimitetaan mahdollisimman nopeasti takaisin käyttöpisteeseen. Laatikkojen nimikemäärät on mitoitettu siten, että toinen laatikko riittää uuden laatikon saapumisen ajan. 2-laatikon järjestelmässä on olemassa runsaasti erilaisia sovelluksia. 2-laatikon järjestelmä sopii yleensä halvoille ja pienille nimikkeille. (Haverila ym. 2009, 452.)

4.5.3 FIFO- ja LIFO-periaatteet

Varastonohjauksen yksinä oleellisimpina ominaisuuksina voidaan pitää FIFO- (First In First Out), ja LIFO-periaatteita (Last In Last Out). FIFO-periaatteen mukaan osia kulutetaan sen mukaan, mikä on ollut pisimpään varastossa ja näin mikään osa ei jää seisomaan varastoon pitkäksi aikaa. Vastaavasti LIFO-periaate toimii siten, että tavaraa kulutetaan sen mukaan, mikä on tuorein. LIFO on vähemmän käytetty menetelmä eikä sitä voida käyttää pilaantuvalla tavaralla. LIFO-periaatetta käytetään yleensä vain tuotteissa, joilla on nopea kierto tai jotka tuodaan vain väliaikaisesti jakeluvarastoon. (Logistiikan Maailma, [viitattu 23.2.2020].)

5 ALKUTILANTEEN KARTOITUS JA 3D-LAYOUTIN PIIRTO

5.1 Nykytilanne

Ovihitsaamon valmistusta ohjataan tällä hetkellä työntöohjauksella ja sen tuotannon määrää tuotannosuunnittelija. Ovihitsaamon osalta tuotantoprosessi käynnistyy siitä, kun tuotannosuunnittelija kääntää tilauskannasta tai ennusteista tuotantotilauksia yrityksen ERP- eli toiminnanohjausjärjestelmään. Tämän jälkeen kyseisen tuotantoalueen työnjohtaja pystyy ERP-järjestelmästä tulostamaan työkortteja eli työmääräimiä, jotka tuotannosuunnittelija on sinne lisännyt. Näiden työkorttien perusteella työnjohtaja muodostaa ovihitsaamoon työjonolistan, jonka mukaan hitsaamossa tiedetään missä järjestyksessä tuotteita valmistetaan. Itse työkortit toimitetaan teräsvarastoon, josta varaston työntekijät eli keräilijät katsovat työkorteista missä järjestyksessä, minkä tuotteen osia pitää keräillä ja milloin. Ovet valmistetaan neljän kappaleen sarjoissa ja niiden osat toimitetaan hitsauspisteisiin keräilykärryillä teräsvarastosta. Tämän jälkeen hitsari pystyy aloittamaan ovituotannon. Kun ovet ovat valmiit, ne toimitetaan varastoon odottamaan maalausta ja hitsari aloittaa seuraavan tuotteen valmistuksen työlistan mukaan.

Ovihitsaamossa valmistetaan 12 erilaista ovea usean eri asiakkaan tilaamiin ohjaamoihin. Näistä kuitenkin kolme ovimallia on poistumassa tuotannosta uusien ovimallien myötä, jotka ovat jo tuotannossa. Tästä syystä projektissa ei ole tarkoituksena huomioida näitä tuotannosta poistuvia tuotteita. Näistä yhdeksästä ovesta neljä kuuluu loppuhitsauslinjassa kulkeviin ohjaamoihin. Nämä ohjaamot tulevat loppuhitsauslinjaan hitsausrobotilta. Kyseisessä loppuhitsauslinjassa ohjaamo loppuhitsataan, hiotaan ja kiinnitetään osia, jotka voi kiinnittää vasta hitsausrobotin jälkeen. Loppuhitsauslinjan jälkeen ohjaamo kulkeutuu lopputarkastukseen ja siitä maalattavaksi maalaamoon. Imuohjaus on siis tarkoituksena suorittaa tämän loppuhitsauslinjan oville ja nykyinen työntöohjaustapa säilyisi muissa tuotteissa niiden vaihtelevan menekin takia. Hitsaamossa valmistetaan useita muita ovimalleja ovihitsaamon ulkopuolella ja myös uusia tuotteita on saapumassa tuotantoon tuoden tietysti myös uusia ovimalleja. Tuotantotilat ovat yrityksessä jo valmiiksi ahtaalla, joten uudet ratkaisut ovihitsaamon layoutille olisivat tarpeen. Halu keskittää myös

muita ovimalleja ovihitsaamoon sekä tilantarve uusille tuotteille tekevät tarpeen ovihitsaamon layoutmuutoksille. Ovihitsaamo toimii solulayoutina, jossa on viisi hitsauspistettä.

5.2 Hitsaamon 3D-layoutin nykytilan piirto

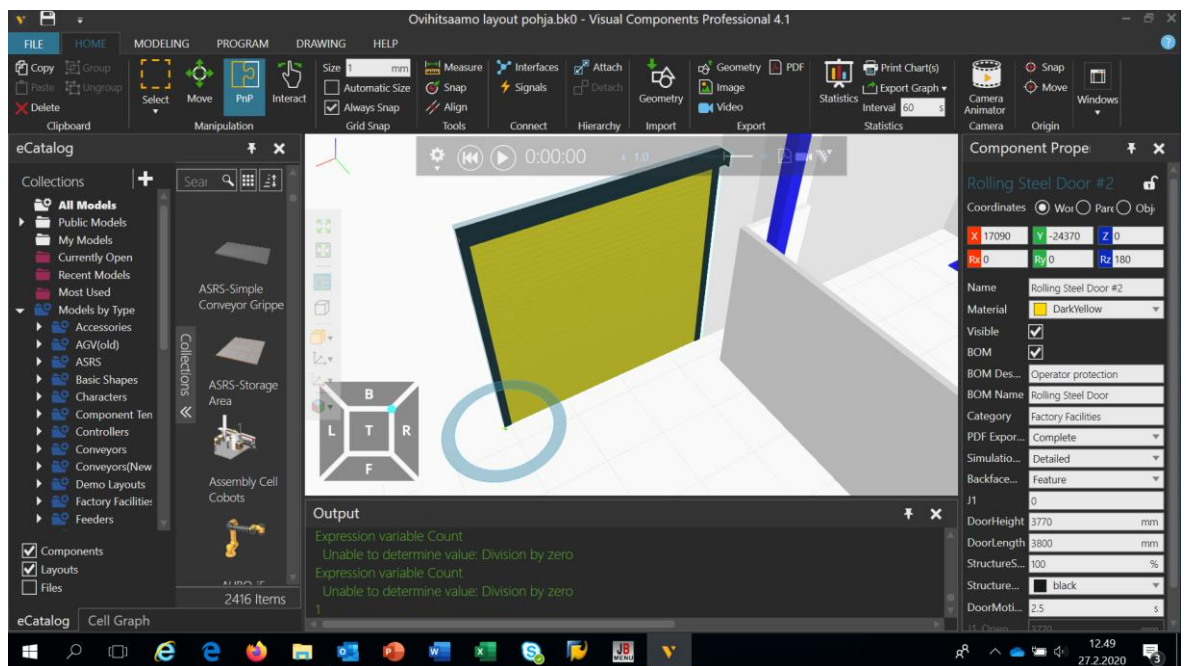
Projekti aloitettiin ensin mallintamalla ovihitsaamo ja sen ympärillä olevat tilat Visual Components Professional -ohjelmalla. Näin saatiin valmis pohja layout-suunnittelulle. Yrityksessä on käytössä versiot Essentials ja Professional. Mallinnuksessa käytettiin Professional versiota, koska siinä on mahdollista muokata valmiita komponentteja ja luoda omia. Näin 3D-layoutista saadaan enemmän visuaalisempi ja tarkemmin kuvaava malli tuotantotiloista.

3D-layoutin piirtäminen hitsaamosta tarkoitti paljon mittaamista tuotantotiloissa. Tarkkojen mittojen saamiseksi käytössä oli Makitan LD050P laseretäisyysmittari (Kuva 2), jolla pystytään mittaamaan etäisyyksiä aina 50 metriin asti. Tuotantotiloista oli olemassa myös 2D-layout, jota käytettiin apuna 3D-layoutin piirtämisessä. 3D-layoutissa käytetyt mitat käytiin kuitenkin aina mittaamassa hitsaamossa, koska 2D-layout ei ollut ajantasainen ja sen sisältävät mitat eivät usein vastanneet todellisia mittoja tuotantotiloissa. Tämän takia siitä ei voitu suoraan kopioida etäisyyksiä tarkan 3D-mallin aikaansaamiseksi.



Kuva 2. Makita LD050P laseretäisyysmittari (Kärkkäinen 2019).

Käytännössä nykytilan 3D-layoutin mallintaminen tapahtui siten, että ensin tulostettiin hitsaamon 2D-layoutista useita tulosteita, joihin oli helppo merkitä mittoja. Tämän jälkeen näiden tulosteiden ja laseretäisyyssmittarin kanssa käytiin hitsaamossa mittaamassa tarpeelliset mitat kyseisen tulosteen alueelta ja merkittiin ne siihen. Tämän jälkeen käytiin tietokoneella mallintamassa kyseistä aluetta Visual Components -ohjelmalla. Tätä toistettiin useita kertoja, kunnes hitsaamosta oli mallinnettu tarpeeksi suuri alue. Visual Componentsissa on laaja komponenttikirjasto, josta otetaan komponentteja ja niitä muokkaamalla saadaan luotua layoutiin esimerkiksi seiniä tai nosto-ovia. Layoutiin pystyy tuomaan myös Visual Componentsin tuomia CAD-tiedostoja. 3D-layoutiin tuotiin ohjaamo- sekä ovimalleja. Liitteessä 2 on piirrettynä hitsaamon nykytilanteen 3D-layout ja samalla selitettynä tähän projektiin liittyvät alueet. Kuvassa 3 näkyy näkymä Visual Components Professional -ohjelmistosta.



Kuva 3. Näkymä Visual Components Professional -ohjelmistosta

5.3 Hitsauskiinnittimien mallinnus

Yhtenä tärkeänä osana 3D-layoutiin liittyen oli hitsauskiinnittimien eli jigien mallinnus 3D-layoutiin. Tämä oli tärkeää, koska vain siten niiden määrän ja tilantarpeen pystyy oikeasti havainnollistamaan layoutissa. Osasta jigeistä oli olemassa mallinnetut 3D-mallit, jotka pystyi suoraan tuomaan Visual Components -ohjelmaan ja

muut pystyttiin mallintamaan mittaamisen jälkeen ohjelmistolla layoutiin. Jigien ei tietysti tarvinnut olla kauhean yksityiskohtaisia mutta niiden tuli olla kuitenkin tunnistettavissa. Tärkeintä niissä oli se, että layoutissa näkee niiden tilantarpeen. Jigit ovat yrityksessä pyörien päällä ja ne pystytään kääntämään säilytysasentoon. 3D-layoutiin piirretyt jigit pystyy myös kääntämään tähän asentoon, jotta niiden varastoinnissa käytettävä tila vastaa todellisuutta. Jigit näkyvät mallinnettuna liitteessä 3.

5.4 Ovihitsaamoon tutustuminen

Samalla kun hitsaamosta piirrettiin nykytilan 3D-layoutia, aloitettiin tutustuminen alkutilanteeseen, jotta saatiin kunnollinen käsitys ovihitsaamon tuotannon nykytilanteesta, ohjaustavasta sekä materiaalinhallinnasta. Tämän työn tekijällä oli jo kokemusta yrityksen toimintatavoista ja tuotannosta, jonka ansioista alkutilanteen kartoitus oli helpompaa. Hitsaamossa mittoja ja etäisyyksiä otettaessa oli helppo keskustella hitsareiden ja muiden hitsaamon työntekijöiden kanssa projektista ja heidän mielipiteistään sekä ajatuksistaan projektiin liittyen. Hitsaamon työntekijöiltä saatiinkin paljon hyviä ajatuksia sekä uusia näkökulmia mitä ei varmasti tulisi ajateltua ilman että keskustelisi heidän kanssaan. Tämän projektin yhtenä tärkeänä tavoitteena olikin ottaa tiiviisti hitsaamon ja varaston työntekijät mukaan projektiin, jotta he pystyisivät myös vaikuttamaan tuloksiin ja siten saataisiin työntekijät sitoutumaan muutoksiin.

6 IMUOHJAUKSEN JA LAYOUTIN SUUNNITTELU

6.1 Suunnittelun eteneminen

Ennen varsinaista suunnittelua täytyi pureutua tarkemmin imuohjaukseen ja sen periaatteisiin, lean-tuotantoon sekä varsinkin kanban-järjestelmiin suunnittelun avuksi. Tämä toteutettiin lainaamalla kirjallisuutta aiheista sekä suomen että englannin kielellä. Suunnittelu tehtiin tiiviissä yhteistyössä tämän projektin projektiryhmän kanssa, johon kuului ovihitsaamon työnjohtaja, tuotannonkehitysinsinööri sekä tuotannonkehityksen tiiminvetäjä. Hitsaamon ja teräsvaraston työntekijöitä pidettiin ajan tasalla suunnitelmista sekä kuunneltiin heidän ideoitaan ja ajatuksiaan. Suunnitelmista ja projektin etenemisestä pidettiin projektiryhmän kanssa viikoittain pala- veri, jossa käytiin suunnitelmia ja visioita läpi.

Aloituspalaverissa sovimme suunnittelun lähtevän liikkeelle imuohjaustavasta, koska imuohjaustavasta saataisiin hyvä pohja layout-suunnittelulle. Layoutia on hyvä visioda vasta silloin, kun tiedetään, miten valmistusta ohjataan. Käytännössä ensin luotiin visio imuohjaustavasta ja tämän jälkeen luotiin alustava layout imuoh- jaustavan pohjalle. Tämän jälkeen luotiin useampi muu versio pienillä eri variaati- oilla ja hiottiin imuohjaustapaa paremmaksi. Seuraavaksi täytyi miettiä materiaalin- hallintaa ja varastonohjausta. Lopulta syntyi kaksi varastointitapaa FIFO-periaat- teen mukaan. Lopuksi täytyi vielä hienosäätää layouteja miettimällä materiaalivirtoja layouteissa ja tehdä niistä toimivia kokonaisuuksia. Tavallaan täytyi ajatella tuotan- non näkökulmasta, miten ovihitsaamon valmistusprosessi etenisi uudessa layoutissa ja näin koittaa varmistaa sen toimivuus.

6.2 Materiaalinhallinnan ja välivaraston suunnittelu

Imuohjauksen myötä tuotanto muuttuisi loppuhitsauslinjan tuotteiden osalta siten, että ovia ei tehtäisi enää neljän kappaleen sarjoissa vaan niitä tehtäisiin yksi kerral- laan oikeaan tarpeeseen. Tämä pakottaa suunnittelemaan uudelleen materiaalin- hallinnan näiden tuotteiden osalta. Käytännössä tämä tarkoitti välivaraston suunnit- telua ovihitsaamoon, koska keräilykärryt eivät enää olisi käytännöllisiä ja osien tarve

hitsarille muuttuisi jatkuvasti. Keräilijä ei enää kerkeäisi toimimaan tuotannon mukana.

Tästä syntyi tarve selvittää loppuhitsauslinjan tuotteiden ovien osien tilantarpeet, jotta ne voitaisiin mallintaa 3D-layoutiin. Alkuperäisenä ajatuksena oli valokuvata valmiita keräilykärriä näiden tuotteiden osalta ja päätellä näistä kuvista varastohyllyn koko. Tämä idean toimimattomuus selvisi nopeasti, koska keräilyjä ei ollut valmiina, kun niitä olisi pystynyt kuvaamaan ja muutenkin keräilykärrien kuvista olisi ollut vaikeaa hahmotella tarkkaa osien määrää. Tämän seurauksena päätettiin tuoda 3D-layoutiin kaikki osat loppuhitsauslinjan ovien tuotteista, jotka eivät mahduttuisi 2-laatikko järjestelmän laatikoihin. 2-laatikko järjestelmää käytettäisiin kaikille pienille osille ja niiden määrä täytyi myös selvittää. Aivan ensimmäiseksi täytyi luoda lista näistä osista. Tämä tapahtui käyttämällä yrityksen Sovelia PLM-järjestelmää. Soveliata käytetään tuotetiedon hallintaan ja siellä on saatavissa kaikki piirustukset yrityksen tekemistä tuotteista. Lista luotiin yksinkertaisesti avaamalla yksitellen jokainen oven hitsauskokoontalon osan piirustus ja katsomalla mitoista mahtuisiko kyseinen osa yrityksessä käytössä oleviin laatikoihin. Samalla pystyi laskemaan tarvittavien laatikoiden määrän. Tämä toteutettiin kaikille loppuhitsauslinjan ovien osille. Listan avulla pystyttiin tuomaan tarvittavat 3D-mallit osista layoutiin.

Näin pystyttiin luomaan tarkka tilantarve väliavarastolle ja samalla luonnostella osien sijainteja varastohyllyssä. Varaston työntekijöitä haastatteleamalla ja tuotantoon tutustumisen jälkeen päätettiin, että osien määrä väliavarastossa tulisi riittää noin viikon ajaksi tuotannossa. Eli käytännössä täyttötarve olisi 1-2 kertaa viikossa riippuen tuotantomäärästä.

7 TULOKSET

Sisältää liike- ja ammattisalaisuuksia.

8 JOHTOPÄÄTÖKSET JA SUOSITUKSET

Sisältää liike- ja ammattisalaisuuksia.

9 YHTEENVETO

Tämän työn tavoitteena oli kehittää ovihitsaamon tuotantoa suunnittelemalla yksinkertainen ja toimiva imuohjausjärjestelmä ovihitsauksen volyymituotteille sekä suunnitella Visual Components -ohjelmalla 3D-layout-vaihtoehtoja tukemaan tätä imuohjausjärjestelmää. Layout-suunnittelun keskeisinä tavoitteina oli tehostaa ja selkeyttää ovihitsaamon tuotantotilaa, pyrkiä suurentamaan sitä, parantaa materiaalivirtoja ja huomioida työturvallisuus- ja tyytyväisyys sekä yrityksen toiveet tilaan liittyen.

Yrityksessä on ollut tarkoituksena lisätä imuohjauksen määrää tuotantoprosessissa perinteisen työntöohjauksen tilalle. Imuohjausjärjestelmä oli tarkoitus toteuttaa volyymituotteille, sillä niiden kohtalaisen tasainen tilauskanta mahdollistaisi imuohjauksen käytön. Tuotantoon tulossa olevat uudet tuotteet aiheuttivat painetta jo valmiiksi ahtaisiin tuotantotiloihin, joten haluna oli myös saada lisää tuotantotilaa ovihitsaukseen. Yrityksessä on ollut myös haluna keskittää ovihitsausta samaan paikkaan hitsaamossa, sillä tällä hetkellä ovien hitsausta on ripoteltuna ympäri hitsaamoa. Hitsaamossa on ollut ongelmana myös hitsauskiinnittimien eli jigien varastointi. Nykyisessä layoutissa ei olla huomioitu jigien säilytystä, kun ne ovat käyttämättöminä. Tämän vuoksi niitä säilytetään epämääräisissä paikoissa ja niiden hakemiseen kuluu ylimääräistä aikaa tuotannossa. Uudessa layoutissa oli otettava tämä asia huomioon.

Työ aloitettiin tuotantotilojen nykytilanteen ja ovien hitsauskiinnittimien mallinnuksella, jotta saatiin pohja ohjelmistoon layout-suunnittelulle. Ensin suunniteltiin imuohjausjärjestelmä, koska layout-suunnittelu on helpompaa, kun tiedetään valmistuksen ohjaustapa. Suunnittelun aikana oltiin yhteistyössä varaston- ja hitsaamon työntekijöiden kanssa sekä yrityksessä pidettiin viikoittainen palaveri suunnittelun tueksi.

Lopputulokseksi saatiin yksinkertainen ja visuaalinen kiskojärjestelmään perustuva imuohjausjärjestelmä loppuhitsauslinjan tuotteille, viisi erilaista 3D-layoutia pienillä erilaisilla variaatioilla ja niihin liittyen kaksi välivarastointitapaa ovihitsaamoon tuleville osille. Yritys pystyy hyödyntämään näitä suunnitelmia ovihitsaamon kehittämi-

seen valitsemalla niistä parhaimpia ominaisuuksia tai jopa kokonaan valmiin vaihtoehdon. Tässä työssä tehtyjen suunnitelmien avulla yritys säästää resursseja ja aikaa ovihitsaamon kehittämistä varten. Yritys päättää, mitkä ominaisuudet se haluaa tulevaisuuden ovihitsaamoon ja se pystyy esimerkiksi implementoida näitä ominaisuuksia vaiheittain tuotantoon.

Visual Components -ohjelmistoa käytettiin tässä projektissa hieman pelkistetyllä tavalla, mihin se on tarkoitettu. Visual Components -ohjelmistoa käytetään yleensä tuotannon valmistusprosessien simulointiin. Yrityksessä tämä ohjelmisto on vielä kuitenkin kohtaisen uusi työkalu ja siksi sitä käytettiin tässä projektissa vain 3D-layout-suunnitteluun eikä simulointiin. Tuotantotiloista luotiin kuitenkin ohjelmistoon pohja tuotantotiloista ja layout-vaihtoehtoja tulevaisuuden projekteja ja mahdollisia simulointeja varten.

Imuohjausjärjestelmästä saatiin onnistunut kokonaisuus, joka miellytti kaikkia osapuolia. Suunnittelussa imuohjausmenetelmään saatiin useita hyötyjä nykyiseen menetelmään verrattuna. Suurimpana etuna on se, että tällä menetelmällä tehtäisiin ovia vain oikeaan tarpeeseen eikä syntyisi ovien puskurivarastoja, jotka ovat lean-filosofian mukaan hukkaa. Samanaikaisesti tuotantotiloissa vapautuu tilaa ja tämä vähentää ylimääräisestä varastoinnista syntyviä kustannuksia. Kun valmistusta tapahtuu vain tarpeeseen, niin sen ansioista resursseja voidaan kanavoida tehokkaammin töihin, jotka eniten tarvitsevat sitä. Kiskoihin perustuva järjestelmä on yksinkertainen ja sen tuoma visuaalisuus on kiskojärjestelmän parhain ominaisuus.

Layout-vaihtoehdot toivat monia kehitysmahdollisuuksia ovihitsaamoon. Hitsausrobotin purkuradan muokkaus ja sen tuomat lisäneliöt tuotantotiloihin olivat perustuksena layout-suunnittelussa. Näiden lisäneliöiden avulla pystytään keskittämään ovihitsausta enemmän ovihitsaamoon ja samalla ne luovat tarvittavaa tilaa tuotantoon tuleville uusille tuotteille. Nämä lisäneliöt tuovat myös helpotusta yrityksen ahtaisiin tuotantotiloihin. Materiaalivirtoja saataisiin tehostettua ja selkeytettyä niiden virratessa suoraviivaisemmin ovihitsaamon läpi. Selkeyttä ja järjestelmällisyyttä luotaisiin jigien omilla säilytyspaikoilla. Nykyisessä layoutissa ei olla huomioitu jigien varastointia, kun ne eivät ole käytössä. Tämän vuoksi niitä säilytetään epämääräisissä paikoissa ja niiden hakemiseen kuluu ylimääräistä aikaa tuotannossa. Selkeiden

paikkojen ansioista kaikki tietäisivät mistä jigit löytyvät ja näin niiden etsimiseen kulutettua aikaa sekä hukkaa saataisiin eliminoitua.

Imuohjauksen suunnittelu loi tarpeen materiaalinhallinnan muuttamiselle ohjausta koskevien tuotteiden osalta ja siten saatiin suunnitelma välivarastosta loppuhitsauslinjan tuotteille ovihitsaamoon. Ovia tehtäisiin vain todelliseen tarpeeseen yksi kerrallaan mikä tarkoittaisi, että osia täytyisi olla aina saatavilla näihin tuotteisiin. FIFO-periaatetta sovellettiin tähän välivarastoon ja sen pohjalta luotiin kaksi vaihtoehtoa osien varastoinnille. FIFO-periaatteen käytössä on monia etuja yritykselle. Muun muassa muutoksenhallinnan prosessi helpottuisi.

Yritykselle suositeltiin vaiheittaista siirtymistä layout-vaihtoehtoon 1. Purkuradan muokkaus kääntöpöydän avulla lisäisi huomattavasti ovihitsaamon pinta-alaa, joten siihen investointi varmasti maksaisi itsensä takaisin. Layout-vaihtoehdon 1 menetelmä loppuhitsauslinjan tuotteiden ovien valmistukseen oli mieluisin sekä projektiyryhmän että hitsareiden toimesta. Imuohjaurata ja valmiiden ovien rata parantaisi parhaiten materiaalien virtausta sen ollessa suunnattuna käytävän suuntaisesti. Kaksivaiheinen hitsaus auttaisi hyödyntämään parhaiten välivaraston siten, että osat ovat aivan vieressä käyttöpaikkaa eikä hukkaa synny niiden kuljettamiseen. Kiskoihin perustuvaa välivarastoa suositeltiin enemmän kuin koukkuihin perustuvaa, koska siinä FIFO-periaate toteutuu puhtaimmin ja hylly toimisi läpivirtaavana. Tätä tapaa myös varaston työntekijät pitivät hyvänä menetelmänä.

LÄHTEET

- Burman, R. 1995. Manufacturing Management: Principles and Systems. London: McGraw-Hill.
- Cabin development and manufacturing in Kurikka. 23.4.2018. [Video]. Vantaa: Fortaco Group. [Viitattu 5.2.2020]. Saatavana: <https://www.youtube.com/watch?v=eezw0bKVO6k>
- Fortaco. 2019. This is Fortaco. [Verkkajulkaisu]. Fortaco Group Oy. [Viitattu 18.1.2020]. Saatavana: https://go.fortacogroup.com/this_is_fortaco
- Graphic Products. Ei päiväystä. Pull System. [Verkkosivu]. [Viitattu 21.2.2020]. Saatavana: <https://www.graphicproducts.com/articles/pull-system/>
- Haverila, M., Uusi-Rauva, E., Kouri, I. & Miettinen, A. 2009. Teollisuustalous. 6. p. Tampere: Infacs.
- Hopp, W. J. & Spearman, M. L. 2011. Factory Physics. 3. p. Long Grove: Waveland Press.
- Krajewski, L. J., Malhotra, M. K. & Ritzman, L. P. 2019. Operations management: processes and supply chains. 12. uud. p. Harlow: Pearson.
- Kärkkäinen. 2019. Makita LD050P 50 m laseretäisyysmittari. [Verkkosivu]. Yli-vieska: Kärkkäinen. [Viitattu 25.2.2020]. Saatavana: https://www.karkkainen.com/verkkokauppa/makita-ld050p-50-m-laseretaisyysmittari?gclid=Cj0KCQiAqNPYBRCjARIsAKA-WFzahQV3PHga1nE8lgz5B7SQ_bfU44_zcyIV5W0dQTjtuCUKKJyZms0aAur-VEALw_wcB
- Logistiikan Maailma. Ei päiväystä. Varastonohjaus. [Verkkosivu]. [Viitattu 23.2.2020]. Saatavana: <http://www.logistiikanmaailma.fi/huolinta-terminaalit/varastointi/varastonohjaus/>
- Planet Lean. Ei päiväystä. What is Lean?. [Verkkosivu]. [Viitattu 28.1.2020]. Saatavana: <https://planet-lean.com/what-is-lean/>
- Planet Lean. Ei päiväystä. Lean Manufacturing. [Verkkosivu]. [Viitattu 29.1.2020]. Saatavana: <https://planet-lean.com/focus/lean-manufacturing/>
- Stevenson, W. J. 2009. Operations management. 9. uud. p. Boston: McGraw-Hill.

- Visual Components. 2019. Layout planning and optimization with Visual Components: How 3D manufacturing simulation can help you increase flexibility, reduce costs, and improve production performance. [Verkojulkaisu]. Espoo: Visual Components Oy. [Viitattu:15.1.2020]. Saatavana: https://www.visualcomponents.com/wp-content/uploads/2019/09/VC-Layout-Planning-and-Optimization-eBook_finalTC.pdf
- Visual Components. Ei päivystä. Visual Components 4.2. [Verkkosivu]. Espoo: Visual Components Oy. [Viitattu 21.1.2020]. Saatavana: <https://www.visualcomponents.com/products/visual-components/>
- Visual Components. Ei päivystä. Essentials. [Verkkosivu]. Espoo: Visual Components Oy. [Viitattu 25.1.2020]. Saatavana: <https://www.visualcomponents.com/products/visual-components/essentials/>
- Visual Components. Ei päivystä. Manufacturing desing and planning. [Verkkosivu]. Espoo: Visual Components Oy. [Viitattu 26.1.2020]. Saatavana: <https://www.visualcomponents.com/solutions/manufacturing-design-planning/>
- Visual Components. Ei päivystä. Getting Started With The Works Library. [Verkkosivu]. Espoo: Visual Components Oy. [Viitattu 25.2.2020]. Saatavana: <https://www.visualcomponents.com/insights/blog/getting-started-with-the-works-library/>

LIITTEET

Liite 1. Sisältää liike- ja ammattisalaisuuksia

Liite 2. Sisältää liike- ja ammattisalaisuuksia

Liite 3. Sisältää liike- ja ammattisalaisuuksia

Liite 4. Sisältää liike- ja ammattisalaisuuksia

Liite 5. Sisältää liike- ja ammattisalaisuuksia

Liite 6. Sisältää liike- ja ammattisalaisuuksia

Liite 7. Sisältää liike- ja ammattisalaisuuksia

Liite 8. Sisältää liike- ja ammattisalaisuuksia

Liite 9. Sisältää liike- ja ammattisalaisuuksia

Liite 10. Sisältää liike- ja ammattisalaisuuksia

Liite 11. Sisältää liike- ja ammattisalaisuuksia

Liite 12. Sisältää liike- ja ammattisalaisuuksia

Liite 13. Sisältää liike- ja ammattisalaisuuksia

Liite 14. Sisältää liike- ja ammattisalaisuuksia