

Lasse Lapinkangas

MUOVITUOTETEHTAAN LAYOUT-SUUNNITTELU

MUOVITUOTETEHTAAN LAYOUT-SUUNNITTELU

Lasse Lapinkangas
Opinnäytetyö
Syksy 2016
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikka, koneautomaatio

Tekijä(t): Lasse Lapinkangas

Opinnäytetyön nimi: Muovituotetehtaan layout-suunnittelu

Työn ohjaaja: Helena Tolonen

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: syksy 2016

Sivumäärä: 32 + 0 liitettä

Opinnäytetyön tarkoituksena oli saada toimeksiantajan käyttöön muokattava 3D-malli muovituote-
tehtaasta ja suunnitella uusi layout, jossa otettiin huomioon uudet työstökoneet ja kehittää uusia
ratkaisuja vanhan laitekannan sijoittelulle. Lisäksi tavoitteena oli kehittää uusia ratkaisuja vanhan
laitekannan sijoittelulle.

Työssä keskityttiin 3D-layoutin luomiseen sekä tehtaan laserleikkureiden sijoitteluun niin, että pöy-
täjyrsinnässä aiheutuva MDF-pöly ei pääsisi vaurioittamaan laserleikkureiden pölyherkkiä osia. Pö-
lyarkojen laserleikkureiden huoltaminen oli suuri kuluja kerryttävä ongelma, josta täytyi päästä
eroon. 3D-mallin tarkoitus oli antaa toimeksiantajan käyttöön layoutin muokkausta helpottava työ-
kalu, jonka avulla tulevaisuudessa layoutin muokkaaminen ja uusien työkoneiden sijoittelu helpot-
tavat huomattavasti.

Työhön tutustuttiin kesän 2016 aikana työskentelemällä tehtaalla suunnittelussa. Kesän aikana
käytiin läpi ongelmakohtia ja mietittiin niihin erilaisia ratkaisuja. Suurimmat ongelmat olivat laserko-
neiden puhtaanapidon vaikeus sekä tilojen ahtaus. Ongelmakohtat tulivat esiin työnjohdon sekä
tuotannon työntekijöiden ilmoittamien havaintojen perusteella.

Ratkaisuna tilankäytön ongelmiin päätettiin työkoneiden käyttö yhdistää työvaiheittain niin, että siir-
toetäisyydet olisivat mahdollisimman lyhyet. Laserkoneiden työtilat järjesteltiin uusiksi ja pölyherkin
laserkone siirrettiin omaan tilaansa. Tehtaasta saatiin tehtyä joustavampi ja tehokkaampi avonaista
tehdashallia hyväksikäyttäen.

Tuloksena oli valmis 3D-malli tehtaasta sekä layout-suunnitelma toimeksiantajan käyttöön. 3D-
mallin luotiin Solid Edge -CAD-ohjelmalla.

Asiasanat: layout, 3D-malli, tyhjiömuovaus

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ.....	3
SISÄLLYS.....	4
1 JOHDANTO.....	6
1.1 Merocap Oy.....	6
1.2 Työn tavoitteet.....	6
2 PERUSTEET LAYOUT-SUUNNITTELUUN.....	7
2.1 Layout-tyypit.....	8
2.1.1 Tuotantolinja.....	8
2.1.2 Funktionaalinen layout.....	9
2.1.3 Solulayout.....	10
2.2 Layoutin valinta ja suunnittelu.....	11
2.3 Merocap Oy:n layout-malli.....	11
3 TILAUKSESTA VALMIIKSI TUOTTEEKSI.....	12
3.1 Tilauksen kohdennuspiste.....	12
3.2 Tilauksesta valmistus.....	13
3.3 Tilauksesta suunnittelu.....	14
4 TEHTAAN TUOTANTO JA TOIMINTA.....	16
4.1 Tyhjiömuovaus eli alipainemuovaus.....	16
4.2 Koneistus.....	18
4.2.1 CNC-koneistus.....	18
4.2.2 Pöytäjyrsintä.....	18
4.2.3 Stanssaus.....	19
4.3 Laserleikkaus.....	19
4.4 Särmäys.....	19
4.5 Kuumamuokkaus eli uunitus.....	20
5 LAYOUT-SUUNNITTELUN LÄHTÖKOHDAT.....	21
5.1 Tehtaan alkuperäinen layout.....	21
5.2 Huomiot.....	21
5.3 Työturvallisuuden huomiointi.....	22
5.4 Koneiden huollettavuus ja käyttö.....	24
6 3D-MALLI.....	25

7	VALMIS LAYOUT	27
7.1	Laserleikkaus ja särmäys	27
7.2	Robotti.....	28
7.3	Pöytäjyrsintä.....	29
7.4	Tulosten analysointi.....	30
8	YHTEENVETO	31
	LÄHTEET.....	32

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä on luotu muovituotetehtaan nykyinen 3D-layout sekä tehdään layout-suunnittelu toimeksiantajan toiminnassa olevalle tehtaalle. Toimeksiantajana työssä toimii Merocap Oy. Layout-kuvia tehtaasta ei julkaista tässä opinnäytetyössä.

Työssä keskitytään tehtaan nykyisen layoutin parantamiseen ja vältettävissä olevien huoltokustannusten poistamiseen. 3D-layoutin toteutus toimii toimeksiantajan apuna tulevaisuuden layout-muutoksia tehdessä.

Tällä hetkellä Merocap Oy:n tehdastiloissa toimii myös NC-Milltop Oy. CNC-koneistukseen keskittyvä Milltop tekee alihankintana muotit muun muassa Merocap Oy:n käyttöön. Merocap Oy:n tuotteet ovat aina asiakaslähtöisiä tilauksia, joten tuotteita tehdään varastoon vain hyvin harvoin. Varastotilat on varattu pääasiassa muoteille ja materiaaleille. (1.)

1.1 Merocap Oy

Merocap on Vihdin Nummelassa toimiva muovituotteita ja muotteja tuottava perheyrittys. Muovi-teollisuudessa vuodesta 1992 toimineen yrityksen toimintaan kuuluu muovituotteiden lisäksi asiakaskohtainen myymäläkalusteiden suunnittelu ja valmistus, design-tuotteiden valmistus sekä myymälätarvikkeet. Merocap tarjoaa laajoja palvelukokonaisuuksia. Pääasiakaskunta koostuu teollisuudesta ja kaupasta. Yhteistyössä NC-Milltop Oy:n kanssa tuotetaan myös muotteja ja muuta CNC-koneistusta. (1.)

1.2 Työn tavoitteet

Tämän opinnäytetyön tarkoitus on parantaa nykyistä tehdaslayoutia sekä luoda siitä Solid Edge-ohjelmalla 3D-layout, jolla helpotetaan tehtaan layoutin myöhempiä muutosvalintoja. Tehtaassa tehdään tyhjiömuovausta, pöytäjyrsintää, laserleikkausta ja akryylin kuumamuovaustyöstöä.

Työn tarkoitus on pääasiassa 3D-mallin teko sekä laserleikkaukoneiden sijoitteluun niin, että pölylle herkät laserleikkaimet ovat omina yksiköinä pölyltä suojassa. Opinnäytetyön tuloksena on valmis 3D-malli tehtaasta sekä layout-suunnitelma toimeksiantajan käyttöön.

2 PERUSTEET LAYOUT-SUUNNITTELUUN

Layout on vakiintunut termi, jolla tarkoitetaan tuotantojärjestelmän fyysisten osien, kuten koneiden, laitteiden, varastopaikkojen ja kulkureittien sijoittelua tehtaassa. Työnkulun ja tuotantolaitteiden sijoittelun perusteella layoutit voidaan jakaa kolmeen päätyyppiin: tuotantolinjalayoutiin, funktionaaliseen layoutiin ja solulayoutiin. (2, s. 475.)

Layout-suunnittelun keskeisenä tavoitteena on materiaalivirtojen tehokas suunnittelu. Materiaalien kuljetuskerrat ja -matkat pyritään minimoimaan osastojen ja työpisteiden sijoittelua suunniteltaessa. Tuotannonohjauksen ja toiminnan kehittämisen kannalta on edullista pyrkiä selkeisiin materiaalivirtoihin. Työpisteet tulee sijoittaa siten, että materiaalien siirtoetäisyydet ovat pienet. (2, s. 428.)

Hyvän layout ominaisuudet ovat seuraavat:

- materiaalivirrat ovat selkeät
- layout on helposti ja joustavasti muutettavissa
- materiaalien siirtotarve on pieni
- kuljetusmatkat ovat lyhyet
- erityisosaamista vaativa valmistus on keskitetty samaan paikkaan
- tehtaassa 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, ja
- työturvallisuus ja -tyytyväisyys on otettu huomioon (2, s. 428).

Layout-suunnittelussa on myös otettava huomioon mahdolliset laajennus- ja muutostarpeet. Tuotantomäärien ja tuotetyyppien muuttuessa layoutia on pystyttävä muuttamaan joustavasti. Mahdolliset muutostarpeet pitää ottaa huomioon erityisesti vaikeasti siirrettävien koneiden ja laitteiden sijoittelussa. Maalaus- ja tuotantolinjat, raskaat koneet ja kiinteät varastorakennelmat on sijoitettava siten, etteivät ne haittaa layoutin myöhempää kehittämistä. (2, s. 428.)

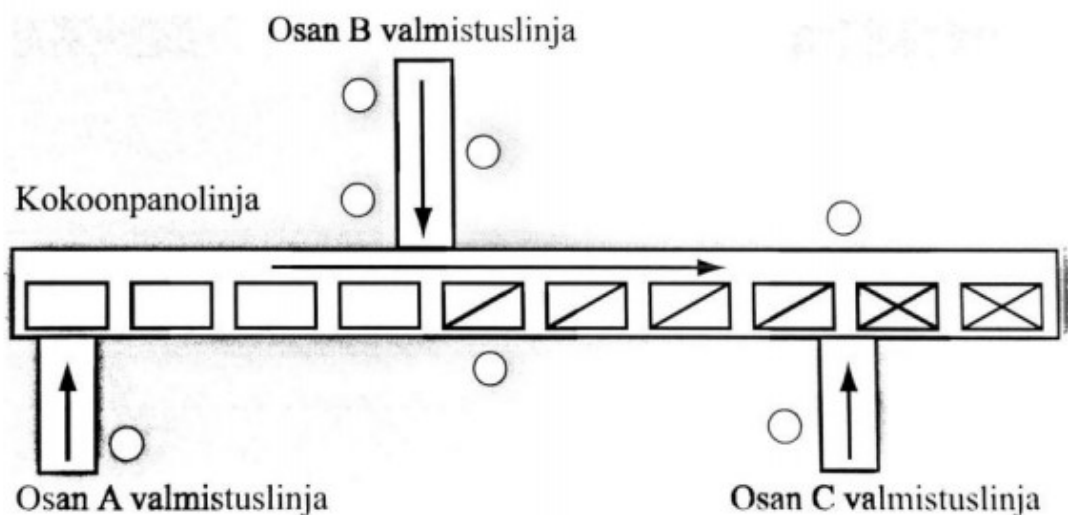
2.1 Layout-tyypit

2.1.1 Tuotantolinja

Tuotantolinjassa koneet ja laitteet ovat valmistettavan tuotteen työnkulun mukaisessa järjestyksessä. Tuotantolinja on erikoistunut tietyn tuotteen valmistamiseen. Valmistus ja kappaleenkäsittely on automatisoitua ja tehokasta. Työnkulku on selkeää, ja eri työvaiheiden välillä voidaan käyttää mekaanisia kuljettimia. (2, s. 475.)

Suuri volyyymi ja korkea kuormitusaste ovat keskeisiä edellytyksiä tuotantolinjan rakentamiselle. Suurien valmistusmäärien ansiosta tuotteen yksikköhinta muodostuu alhaiseksi, vaikka tuotantolinjan rakentamisen kustannukset ovat suuret. Tuotantolinja sietää huonosti häiriöitä, koska pienikin häiriö vaikuttaa nopeasti koko linjan tuottavuuteen. (2, s. 475.)

Kapasiteetin kasvattaminen on vaikeata linjan toteutuksen jälkeen. Tuotantosarjat ovat usein pitkiä, koska tuotteen vaihtaminen toiseen vaatii tavallisesti pitkän asetusajan. Selkeä työnkulku tekee linjan tuotannonohjauksen helpoksi, sillä tuotantolinjaa (kuva 1) ohjataan käytännössä yhtenä kokonaisuutena. (2, s. 476.)

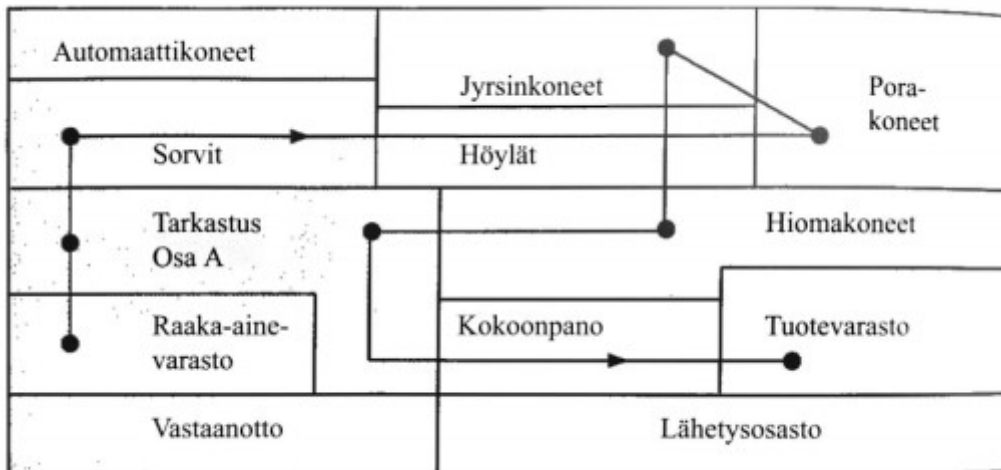


KUVA 1. Tuotantolinjalayout (2, s. 476)

2.1.2 Funktionaalinen layout

Funktionaalissa layoutissa koneet ja työpaikat on ryhmitelty työtehtävän samankaltaisuuden perusteella. Esimerkiksi kaikki sorvit ovat sorvaamossa ja hitsauspaikat hitsaamossa. Funktionaalista layoutia nimitetään myös teknologiseksi layoutiksi koneiden tuotantoteknologiaan perustuvan ryhmittelyn vuoksi. (2, s. 476.)

Funktionaalissa layoutissa tuotantomäärät ja tuotetyypit voivat vaihdella huomattavasti. Koneet ja laitteet ovat tavallisesti monipuolisia ja yleiskoneita, joilla voidaan valmistaa joustavasti erilaisia tuotteita. Tuotteet valmistetaan yksittäiskappaleina tai sarjoina. Toisistaan poikkeavien työnkulkujen vuoksi materiaalinkäsittelyyn voidaan soveltaa automaatiota hyvin rajoitetusti. Tuotannonohjaus perustuu eri koneille jonottavien töiden järjestelyyn. Töiden ohjaus oikea-aikaisesti työvaiheesta toiseen on hankalaa. Työjonot kasvattavat keskeneräisen tuotannon määrää ja pidentävät tuotannon läpäisyäikää. Työpisteiden välisen suuren etäisyyden vuoksi materiaalien kuljetus- ja käsittelykustannukset muodostuvat suuriksi. Työnvaiheiden välillä olevien välivarastojen ja työpisteiden suuren etäisyyden vuoksi laadunhallinta on hankalaa. (Kuva 2.) (2, s. 476.)



KUVA 2. Funktionaalinen layout (1, s. 477)

Funktionaalisen layoutin toteutus on helppo ja halpa tuotantolinjaan verrattuna. Kapasiteetin kasvattaminen on joustavaa samoin kuin erilaisten tuotteiden valmistaminen. Funktionaalisen layoutin tuottavuus on tuotantolinjaan verrattuna heikompi ja kuormitusasteet jäävät keskimäärin mataliksi. (Kuva 3.) (2, s. 476 - 477.)

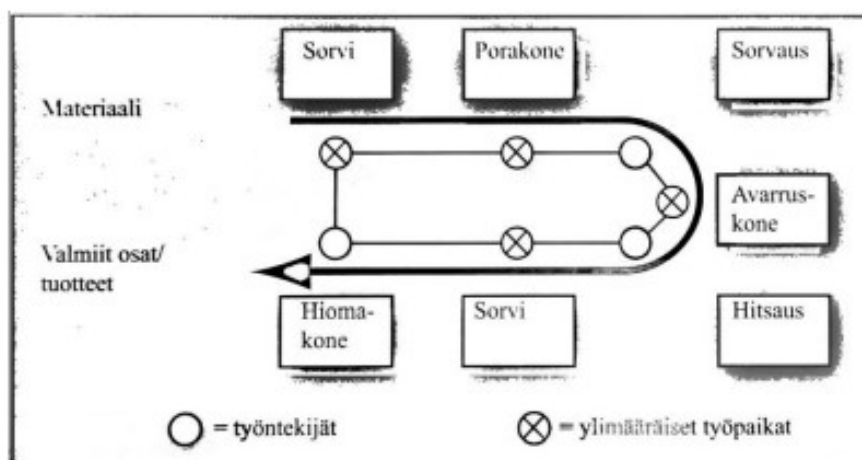
Funktionaalinen layout	Tuotantolinjalayout
<ul style="list-style-type: none"> - suuret yksikkökustannukset - paljon keskeneräisiä töitä - joustava tuotepolitiikassa - helppo rakentaa - pieni häiriöalttius - tuotannonohjaus vaikeaa - joustava kapasiteetin lisäämisessä - kuormitusaste 60 - 90% 	<ul style="list-style-type: none"> - pienet yksikkökustannukset - vähän keskeneräisiä töitä - jäykkä tuotepolitiikassa - vaikea rakentaa - suuri häiriöalttius - tuotannonohjaus helppoa - joustamaton kapasiteetin lisäämisessä - kuormitusaste 80 - 100%

KUVA 3. Funktionaalisen layoutin ero tuotantolinjaan. (2, s. 477)

2.1.3 Solulayout

Solulayout muodostaa itsenäisen, eri koneista ja työpaikoista kootun ryhmän, joka on erikoistunut tiettyjen osien valmistamiseen tai työvaiheiden suorittamiseen. Solulayout on eräänlainen väli-muoto funktionaalisesta layoutista ja tuotantolinjasta. (2, s. 477.)

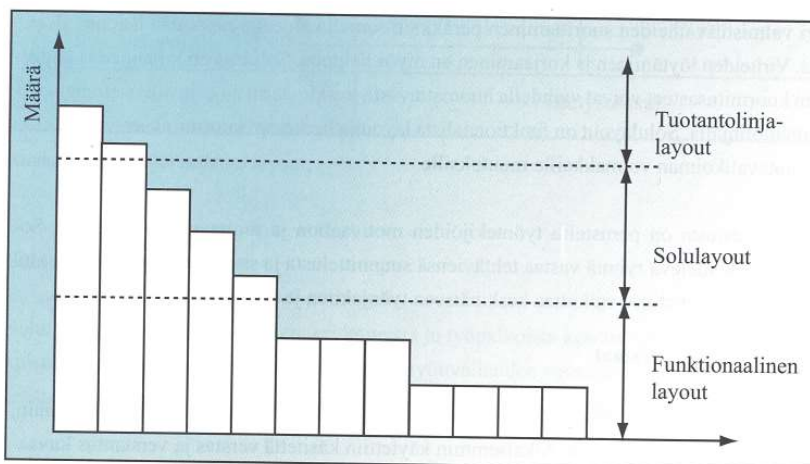
Solujen läpäisyajat ovat huomattavan lyhyet funktionaaliseen layoutiin verrattuna. Materiaalivirta on selkeä eikä siinä esiinny välivarastoja. Solu pystyy valmistamaan joustavasti niitä tuotteita, joiden valmistukseen se on suunniteltu. Asetusajat siirryttäessä tuotteesta toiseen ovat lyhyet. Solu on joustavampi kuin tuotantolinja ja tehokkaampi kuin funktionaalinen järjestelmä omassa tuoterhyhmässään. (Kuva 4.) (2, s. 477 - 478.)



KUVA 4. Solulayout (2, s. 478)

2.2 Layoutin valinta ja suunnittelu

Layout-tyyppi valitaan tuotevalikoiman laajuuden ja tuotettavien määrien perusteella. Tuotantolinjalayoutia sovelletaan tuottaessa suuria määriä samantyyppisiä tuotteita. Funktionaalinen layout on parhaimmillaan, kun valmistettavien tuotetyyppien määrä on suuri, mutta tuotantomäärät pienet. Solulayoutia käytetään valmistettaessa eri tuotteita toistuvasti, mutta ei kuitenkaan niin paljon, että kannattaisi muodostaa oma tuotantolinja. Soluissa voidaan valmistaa tuotantolinjaa joustavammin erityyppisiä tuotteita. (2, s. 479.)



KUVA 5. Tuote-määrä -analyysi (2, s. 479)

2.3 Merocap Oy:n layout-malli

Tehtaan toimintapa perustuu hyvin vahvasti funktionaaliseen layoutiin, jossa samat työkoneet on sijoitettu omaksi alueekseen. Tämä näkyy myös tuotannossa monina eri tuotteina, jotka kuitenkin työstetään samoilla työkoneilla. Esimerkiksi pöytäjyrsintään voidaan tuoda tuotteita työstettäväksi suoraan levymateriaalista, aihioiksi leikattuna laserleikkauksesta tai valmiita aihioita tyhjiömuovauksesta.

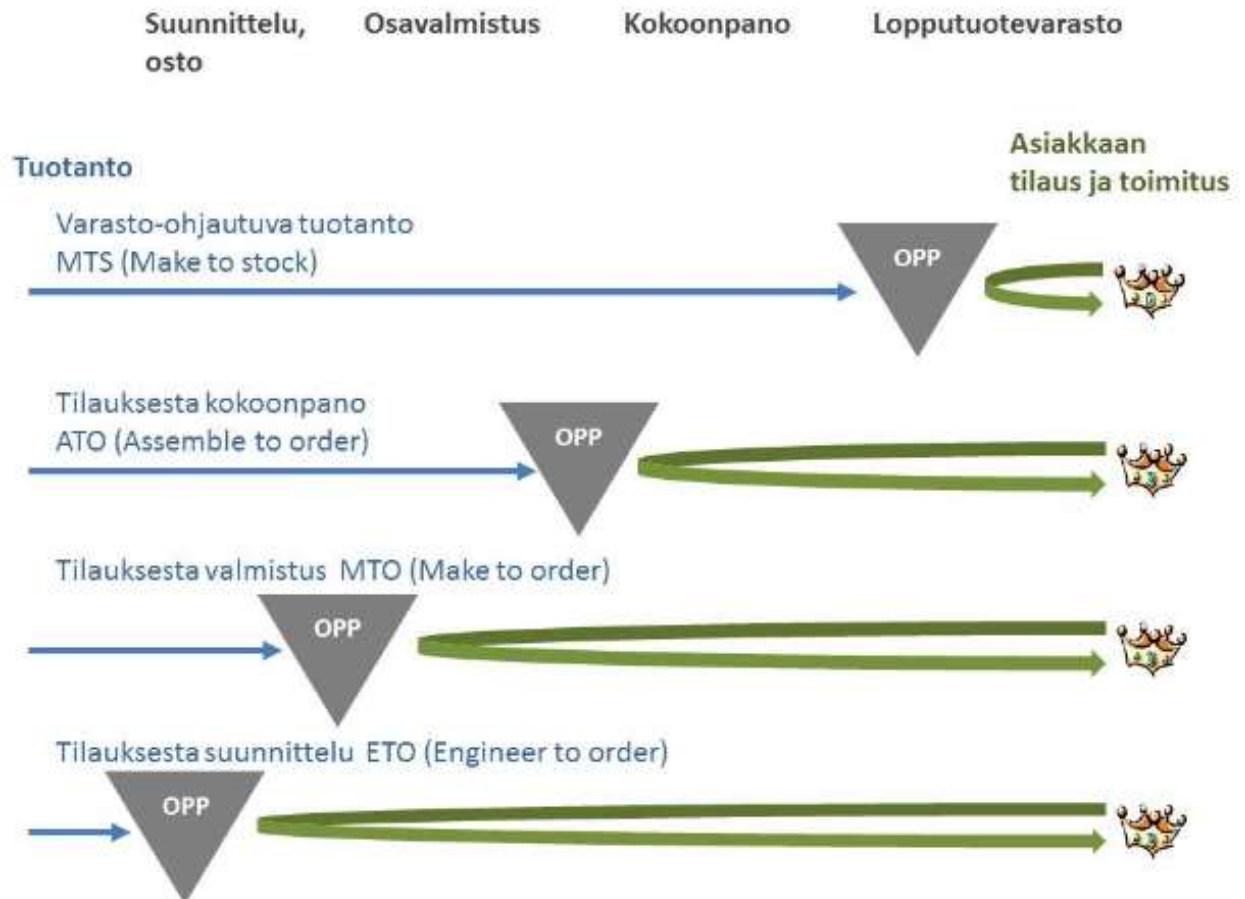
3 TILAUKSESTA VALMIIKSI TUOTTEEKSI

Merocap Oy:n tuotekehityksen tuotteet ovat aina asiakaslähtöisiä. Tuote valmistetaan aina asiakkaan toiveiden mukaisesti joko valmiista piirustuksista tai tuotekehitystä jatketaan eteenpäin asiakkaan toiveiden ja omien suunnittelupalvelujen avulla.

3.1 Tilauksen kohdennuspiste

Tilauksen kohdennuspisteellä tarkoitetaan sitä kohtaa materiaalivirrasta, jossa tuote kiinnitetään asiakkaan tilaukselle: esimerkiksi varasto-ohjautuvassa tuotannossa kohdennuspiste sijaitsee lopputuotevarastossa. Tällöin tuotteita valmistetaan sisäisten tuotantotilausten perusteella lopputuotevarastoon, josta ne asiakkaan tilauksen perusteella toimitetaan asiakkaalle. (3.)

Kuvassa 6 esitetään keskeisimmät tilauksen kohdennuspisteen paikat ja niitä vastaavat tuotantotyytit: varasto-ohjautuva tuotanto (MTS = Make to Stock), tilauksesta kokonpano (ATO = Assemble to Order), tilauksesta valmistus (MTO = Make to Order) ja tilauksesta suunnittelu (ETO = Engineer to Order). Näiden perustyyppien lisäksi kohdennuspisteen mukaan voidaan kuvata muitakin tuotantotyyppisiä, kun määritellään tarkemmin, mitä tapahtuu asiakastilauksen laukaisemana ja mitä sitä ennen. Tilauksen kohdennuspisteestä käytetään suomeksi myös termiä tilauksen iskupiste sekä englanninkielisestä nimestä Order Penetration Point tulevaa lyhennettä OPP. (3.) Merocap Oy:n tilauksien kohdennuspisteet ovat pääsääntöisesti tilauksesta valmistus tai tilauksesta suunnittelu.



KUVA 6. Tilauksen kohdennuspisteen määrittäminen (3)

3.2 Tilauksesta valmistus

Tilauksesta valmistettaessa (MTO eli Make to Order) tilauksen kohdennuspiste (OPP) sijaitsee syväällä tuotannossa: tuote valmistetaan lähes alusta valmiiksi tuotteeksi asti asiakkaan tilauksen pohjalta. Lopputuotevarastoa ei ole, vaan tuotannon varastot ovat keskeneräistä tuotantoa sekä materiaaleja, komponentteja ja osia. (4.)

Tilauksesta valmistus on tyypillinen ratkaisu tilanteissa, joissa tuotantomäärä on suhteellisen pieni verrattuna eri lopputuotevaihtoehtojen määrään. Tällöin lopputuotevarasto ei ole käytännössä mahdollinen: kaikkien eri lopputuotevarianttien varastointi vaatisi suhteettoman paljon sitoutunutta pääomaa ja aiheuttaisi paljon kustannuksia. Jo varastotila voi olla rajoittava tekijä. (4.)

Tilauksesta valmistettaessa asiakkaan kokemana toimitusaika on huomattavasti pidempi kuin varasto-ohjautuvassa tuotannossa ja usein myös selkeästi pidempi kuin tilauksesta kokoonpanossa. Tilauksesta valmistus valitaan tilauksesta kokoonpanon sijaan esimerkiksi tilanteissa, joissa tuote ei sovellu moduloitavaksi tai sitä ei ole moduloitu tai mikäli tuotantomäärät ovat niin pienet, ettei moduulien varastointi olisi taloudellisesti järkevää. (4.)

Tilauksesta valmistus mahdollistaa hyvin laajan tuotevalikoiman. Varastoon sitoutuu suhteellisen vähän pääomaa, koska varasto on osina ja komponentteina, ei valmiina tuotteina. Kaikki keskenäinen tuotanto liittyy johonkin asiakastilaukseen, mikä pienentää riskiä. Tuotannon työmäärä voi vaihdella eri ajankohtina voimakkaastikin, koska tuotannon aktiviteetit riippuvat tilauksista. (4.)

Puhtaimmillaan tilauksesta valmistus tarkoittaa sitä, että tuote on suunniteltu valmiiksi ja siitä on olemassa piirustukset ja työohjeet. Käytännössä rajaviiva tilauksesta valmistettavien ja tilauksesta suunniteltavien tuotteiden välillä ei ole aina täysin ehdoton, vaan tilauksesta valmistettaville tuotteille voidaan tehdä pienimuotoista suunnittelutyötä. Tilauksesta valmistettaville tuotteille voidaan myös ostaa osia tai materiaaleja tilauskohtaisesti. Jos pääosa osista tai materiaaleista ostetaan asiakkaan tilauksen laukaisemana, voidaan puhua myös tilauksesta ostosta tuotantotapana (Purchase to order tai Buy to order). (4.)

3.3 Tilauksesta suunnittelu

Tilauksesta suunniteltaessa (ETO eli Engineer to Order) tilauksen kohdennuspiste (OPP) sijaitsee syvimmällä tuotannossa eli kauimpana asiakkaasta muihin tuotantotyyppisiin verrattuna (tilauksesta valmistus, tilauksesta kokoonpano ja varasto-ohjautuva tuotanto). Tuote valmistetaan asiakkaan tilauksen pohjalta, mutta valmistamisen lisäksi tilaukseen liittyy myös tuotesuunnittelua. Lopputuotevarastoa ei ole, vaan tuotannon varastot ovat keskeneräistä tuotantoa sekä materiaaleja, komponentteja ja osia. Tuotanto voi myös toimia ilman materiaalivarastoja tai vähäisillä materiaalivarastoilla ja hankkia tarvittavat materiaalit asiakastilauksen mukaan. (5.)

Tilauksesta suunnittelu on tyypillinen toimintatapa tilanteissa, joissa asiakas tarvitsee juuri hänelle valmistetun tuotteen. Esimerkiksi laitteisto mitoitetaan tarkan käyttökohteen mukaisesti tai tuotteeseen vaaditaan toiminnallisuutta, jota olemassa olevissa tuotteissa ei ole. Suunnittelun määrä voi vaihdella: tilauksesta suunnittelussa suunnittelu voi tarkoittaa pientä tilauskohtaista modifikaatiota

tai mitoitusta tai kokonaan uuden toiminnallisuuden suunnittelua tuotteeseen. Tilauksesta suunnittelussa on eri tuotantotavoista pisimmät toimitusajat asiakkaalle, mutta asiakkaalle voidaan tarjota juuri tarpeen mukainen tuote, sillä tuotevarianttien määrä on ainakin teoriassa äärettömän suuri. Varastoriskit ja varastoon sitoutunut pääoma ovat myös pienempiä kuin muissa tuotantotyypeissä.

(5.)

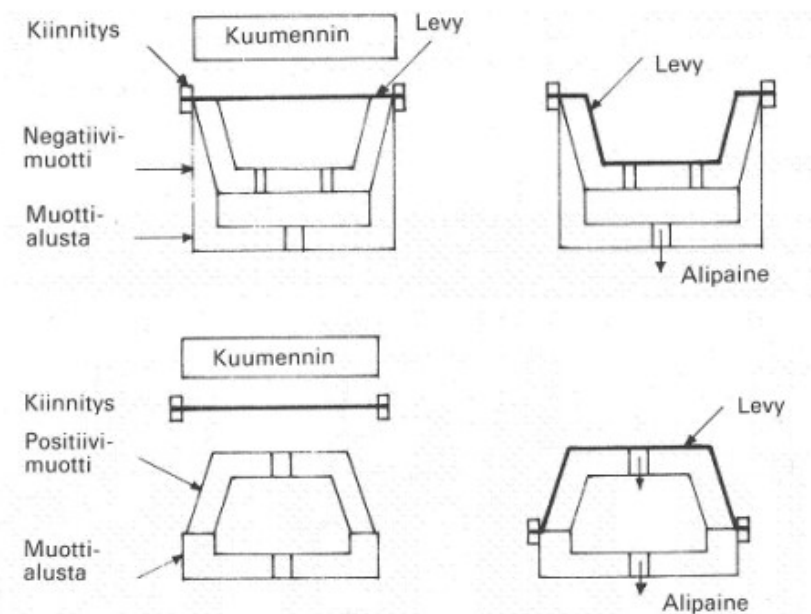
4 TEHTAAN TUOTANTO JA TOIMINTA

Merocap Oy:n Nummelan tehtaalla suuri osa tuotteista valmistetaan tyhjiömuovauksella. Tyhjiömuovattu aihio vaatii melkein aina jälkityöstöä valmiin tuotteen saavuttamiseksi. Yleisimmät jälkityöstövaiheet ovat CNC-koneistus, stanssaus, sahaus tai jyrästä.

Muovilevyjen työstöön käytetään myös laserleikkaus ja -merkkäuskoneita. Valmiit aihiot saadaan leikkaamalla jopa 10 mm paksua muovilevyä haluttuun muotoon. Laserleikattuja levyaihoita työstetään yleensä vielä lämpöautoja käyttäen särmäämällä levyjä haluttuun muotoon esimerkiksi laattikomaisia muotoja haluttaessa.

4.1 Tyhjiömuovaus eli alipainemuovaus

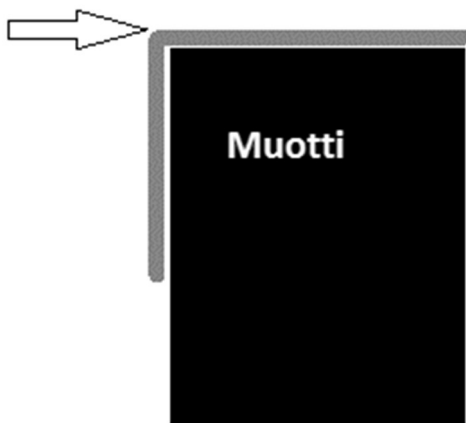
Alipainemuovausmenetelmässä levymainen, esilämmitetty aihio lasketaan muotin päälle. Tämän jälkeen muotin ja aihion väliin jäänyt tila alipaineistetaan. Tällöin muovi muotoutuu tarkasti muotin muotoon. Jäähdytymisen jälkeen muovattu aihio siirretään leikkaukseen ja jatkojalostukseen. Muottimateriaaliksi soveltuvat esimerkiksi alumiini, puu, epoksi ja lasikuitu. (6.) (Kuva 7.)



KUVA 7. Tyhjiömuovauksen periaate (7, s. 56)

Tehtaalla suurin osa tuotteista valmistetaan tyhjiömuovaamalla. Tyhjiömuovauksessa käytettävät muotit tulevat alihankintana tehtaan tiloissa toimivalta NC-Milltopilta. Muotit on valmistettu joko MDF-levystä tai alumiinista. MDF-levyn etuna on muotin valmistuksessa hinta. Kun halutaan tuotteesta esimerkiksi vain 100 - 500 kappaleen sarjaa, kannattaa käyttää MDF-muottia. Alumiinista valmistetut muotit ovat kaksi kertaa kalliimpia mutta niiden avulla sarjamäärä on käytännössä rajaton. Tyhjiömuovauksella ei päästä ruiskupuristuksen laatu tasolle ja terävissä kulmissa on aina vähintään ainepaksuuden kokoinen säde. (Kuva 8.)

Nurkassa pyöristys aina ainepaksuuden verran.



KUVA 8. Tyhjiömuovauksessa kulmaan syntyvä pyöristys

Menetelmä soveltuu niin isojen kuin pientenkin ohutseinämäisten tuotteiden valmistukseen. Alipainemuovauksella aikaansaadaan keveitä, iskunkestäviä, läpinäkyviä, värillisiä ja kierrätyskelpoisia tuotteita. (6.)

Pienten muottikustannusten ansiosta alipainemuovaus on edullinen muovituotteiden valmistustapa. Menetelmällä valmistetaan esimerkiksi tuotepakkausten läpinäkyviä kuoria, perävaunujen kuomuja, piha-altaita, kattoluukkuja ja kompostoreita. (6.)

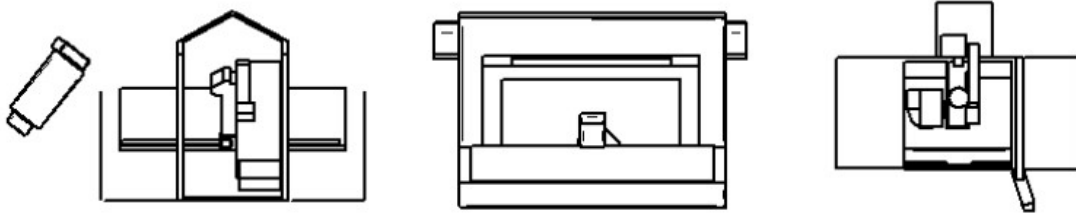
Tehtaalla tyhjiömuovausta tehdään neljällä koneella. Koneeseen laitetaan tuotekohtainen muotti ja muottikehys, jotka ajetaan paikalleen trukilla. Koneille raaka-aine tuodaan joko arkeissa käsin varastosta tai automaattisesti rullalta. Valmis aihio tai tuote irrotetaan muotista ja kerätään lavalle joko

odottamaan siirtoa lopputyöstöön tai pakkausta ja lähetystä varten. Yleensä tyhjiömuovaustuotteet valmistetaan sarjana lavalle tai laatikkoon, josta ne siirretään työstökoneelle viimeistelyä varten.

4.2 Koneistus

4.2.1 CNC-koneistus

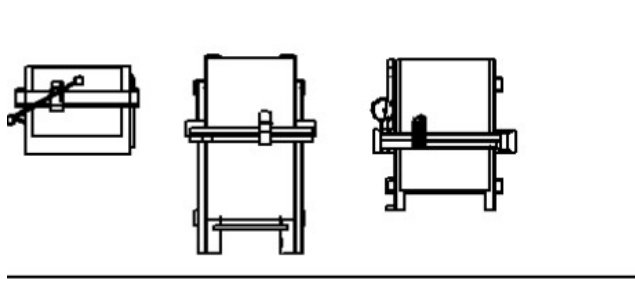
Merocap Oy:n tehtaalla CNC koneistuksessa käytetään 5-akselisia koneistuskeskuksia, joilla tyhjiömuovattuihin aihioihin tehdään jälkityöstö. Jälkityöstössä tyhjiömuovattu aihio istutetaan muottia vastaavaan kiinnitysalustaan, johon se kiinnittyy alipaineella. Tietokoneohjattu työstörata leikkaa ja jyrää ahiosta halutun tuotteen muodot ja aukot tarvittaviin kohtiin. Jälkityöstö CNC-koneella käsittelee yleensä reikien teon ja aihion reunojen muotoleikkaukset.



KUVA 9. CNC-koneiden asettelu layoutissa

4.2.2 Pöytäjyrsintä

Pöytäjyrsintää käytetään paksumpien levyjen työstämiseen valmiiksi tuotteeksi tai jälkityöstössä urien ja reikien tekemiseen. Tätä käytetään esimerkiksi ikkunan kehyksille, kun halutaan lasille syvennys liimausta varten. Pöytäjyrsintää käytetään myös esimerkiksi leikkuulautojen muotoiluun sekä polykarbonaattilevyjen työstämiseen, koska polykarbonaattilevyjen leikkaaminen laserilla värjää leikkausreunan. Pöytäjyrsimiä löytyy tehtaasta kolme. Pöytäjyrsimet ovat raskaita koneita, mutta niiden siirtäminen on hallinosturilla toteutettavissa.



KUVA 10. Pöytäjyrsinten asettelu layoutissa

4.2.3 Stanssaus

Tyhjiömuovauksen jälkeen voidaan ohutlevystä tehdyistä aihiot siirtää stanssauhukseen. Stanssauhksella saadaan tyhjiömuovattuun aihioon leikattua muodot ja reiät yhdellä painalluksella. Stanssaus tarvitsee jokaiselle tuotteelle oman leikkaustyökalun. Stanssausta käytetään pienemmille ohutlevy-aihioille, mutta se on sovellettavissa myös isompiin tuotteisiin. Stanssikone on liikuteltava, joten se ei vaadi kiinteää paikkaa.

4.3 Laserleikkaus

Laserleikkauksessa leikattavaan materiaaliin kohdistetaan lasersäde, joka leikkaa, polttaa, sulattaa tai höyrystää leikkauks jäljen. Laserleikkauksella saadaan muoviin erittäin tarkka ja hieno leikkauks jälki, eikä leikkureunojen jälkityöstöön ole tarvetta. Laserleikkauksella voidaan myös merkitä tai piirtää muovin pintaan jälkiä. Lasermerkkausta voidaan käyttää akrylin taivutuksessa taivutuskohdan merkkaukseen tai haluttaessa lisätä levyn pintaan esimerkiksi tekstiä.

4.4 Särmäys

Akryyli- ja PET-levyjen särmääminen tapahtuu lämpöautojen avulla. Särmättäessä levy asetetaan vastusraudan päälle halutusta taittokohdasta ja annetaan levyn kuumentua, kunnes se on taivutettavissa. Lämmitetty kohta mahdollistaa levyn taittamisen, ja se jäähtyy nopeasti jäaden haluttuun asentoon. Särmäyksessä käytettävät levyaihiot leikataan laserleikkureilla, josta ne siirretään särmäyspisteelle.

4.5 Kuumamuokkaus eli uunitus

Kuumamuokatut osat valmistetaan valmiiksi leikatuista levyaihoista uunissa lämmittämällä. Levyt lämmitetään uunissa muovauslämpötilaan, minkä jälkeen ne asetetaan muotin päälle jäähtymään. Jäähtymisen jälkeen aihiot eivät enää palaudu alkuperäiseen muotoonsa ilman uudelleen kuumennusta. Näin levyihin saadaan muovattua hyvin monenlaisia muotoja.

5 LAYOUT-SUUNNITTELUN LÄHTÖKOHDAT

Layout-suunnittelu aloitettiin tutustumalla tehtaan tuotantoon ja työkoneilla valmistettaviin tuotteisiin. Tämä tapahtui suunnittelutyön ohessa, kun tuotteille kartoitettiin valmistusmenetelmiä. Tehtaan tilankäytön hahmottamiseen tehtiin tehtaasta 3D-näköismalli Solid Edge -CAD-ohjelmalla, jonka kokoonpanossa laitteita pystyi siirtämään ja kääntelemään haluttuihin paikkoihin.

5.1 Tehtaan alkuperäinen layout

3D-mallin tarkoitus oli olla niin tarkka, että jokaisen koneen mallista näki heti, mitä konetta sillä kuvataan. Tehtaan koneet olivat sen verran vanhoja, ettei niistä valmiita 3D-malleja löytynyt. Poikkeuksena on Motoman robotti, jonka 3D-malli löytyi valmistajan internet-sivuilta. Kaikki koneet mitattiin rullamitalla ja omia mittapiirroksia apuna käyttäen. Koneista mallinnettiin täysikokoiset 3D-mallit virtuaalitehtaan kokoonpanoon.

5.2 Huomiot

Kulku varasto- ja kokoonpanohallista tehtaaseen tapahtuu tehtaan päätyovesta sekä varastohallin ja tuotantohallin yhdistävästä ovesta. Jätteet ja tyhjiömuovauskoneiden muottikehykset kuljetetaan päätyovesta.

Tehtaan laitekantaan kuuluu neljä tyhjiömuovauskonetta sekä kaksi viisiakselista CNC-konetta, joiden uudelleensijoittelu tehtaaseen olisi ollut erityisen hankalaa. CNC-koneet ja tyhjiömuovauskoneet ovat suuria laitteita ja painavat useita tonneja. Niiden siirtäminen onnistuisi hallinostureiden avulla mutta se olisi todella työlästä. Lisäksi tyhjiömuovauskoneet ovat käytössä joka päivä ja niiden käyttöaste on suurin koko tehtaassa, joten niiden uudelleenjärjestäminen aiheuttaisi tehtaalle liian suuren seisakin hyötyihin nähden. Alkuperäisen layoutin mukainen sijoittelu kuitenkin toimi niiden osalta erittäin joustavasti ja uutta layoutia päätettiin muokata tyhjiömuovauskoneiden ja CNC-koneiden ehdoilla.

Toinen hankaluuksia aiheuttava yksikkö oli Motoman-robotti. Robotilla työstetään tyhjiömuovattuja ohutlevytuotteita CNC-koneiden tapaan. Erona CNC-koneeseen on erillinen työstöpöytä. Robotin

siirtäminen tuottaisi mahdollisesti paljon lisätyötä, koska jokainen työstöohjelma pitäisi ohjelmoida uusiksi, jos robottia siirrettäessä työstöpöydän fyysinen koordinaatisto muuttuisi. Toisaalta sen siirtäminen omaan nurkkaansa toisi tehtaaseen paljon kaivattu tilaa ja sujuvuutta työkiertoon.

Yhtenä parannuskohteena tehtaassa oli lasernurkkaus, jossa pölyherkkä laserkone ei kestä pöytäjyrsin alueelta leijailevaa mdf-pölyä. Laitteen huoltovälit lyhenivät turhaan, huoltokustannukset kasvoivat liian suuriksi ja tuottavuus kärsi.

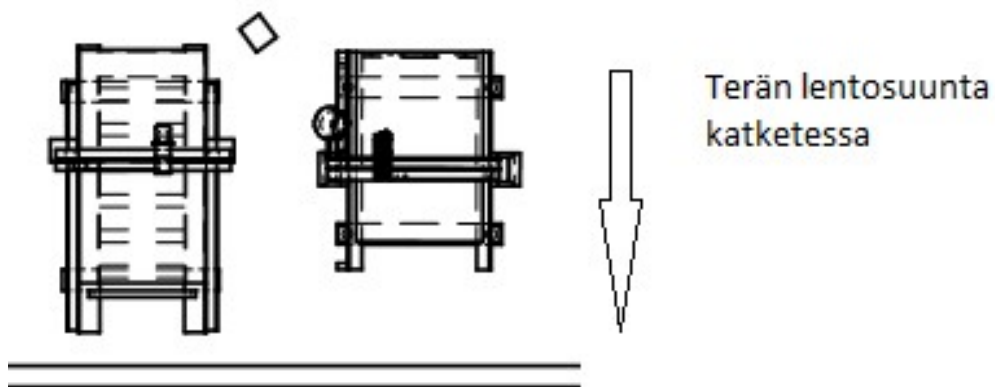
Tehtaan 3D-layoutin valmistuessa tehtaalle saatiin uusi pöytäjyrsin ja loppuvuodesta saapuu laserleikkaukseen tilattu laserleikkaus ja -merkkaukone. Molemmat koneet on mallinnettu alkuperäiseen layoutiin.

5.3 Työturvallisuuden huomiointi

Työsuojelu, työturvallisuus ja työhyvinvointi vaikuttavat merkittävästi työpaikan toimintaan ja tuottavuuteen. Kun ne ovat kunnossa, sujuu työnteko mutkattomasti, työntekijät voivat hyvin ja toiminta on tuottavaa. (8.)

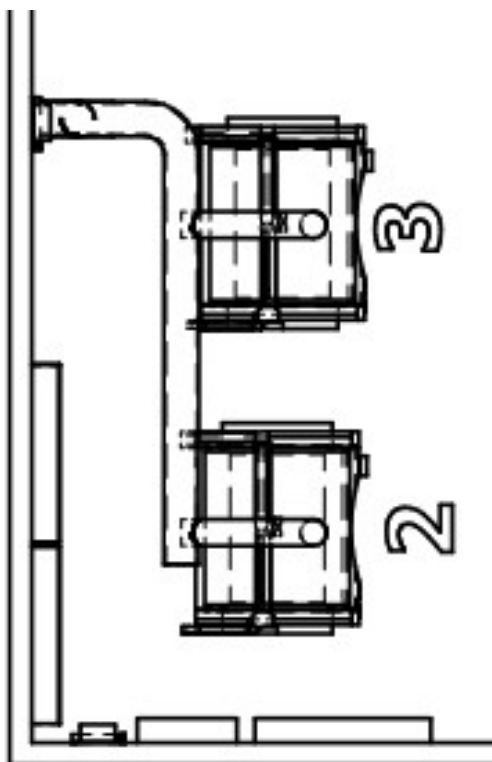
Tehtaissa työturvallisuus on prioriteettina aina muutoksia tehdessä. Koskipa se sitten kokonaan uutta layoutia tai vain uuden koneen asentamista. Monesti työturvallisuuden huomiointi mutkistaa layout-suunnitelmien valmistumista ja rajoittaa mahdollisten layout-versioiden määrää. Myös Merocap Oy:n tehtaalla piti layout-suunnitelmissa ottaa huomioon työturvallisuuteen liittyviä seikkoja.

Pöytäjyrsinnässä huomioon oli otettava terän katkeaminen. Työajo tapahtuu yleensä myötävään, joten terän katkeamisen tapahtuessa terä lentää työntekijästä pois päin kohti takaseinää. Näin ollen jyrsinpöytä olisi sijoitettava aina takaosa seinään päin tai varmistettava, ettei pöydän sijoittaminen tuota vaaraa sen takana kulkevalle työntekijälle. Tehonlähteiden suuren tilantarpeen vuoksi seinämyötäinen asentaminen oli kuitenkin jopa helpoin tapa pöytäjyrsinten sijoitteluun.



KUVA 11. Pöytäjärsinten asettelu

Laserleikkauksessa syntyvät kaasut aiheuttavat suuren terveysriskin. Koska uusi laserkone oli tilattu, kaasunpoisto oli suunniteltava paremmaksi. Laserkoneille suunniteltiin uusi kaasunpoistojärjestelmä, jonka imukone saatiin asennettua entisen maalaushuoneen seinässä olevaan tuuletusaukkoon. Järjestelmään asennettiin myös automaattinen sulkupelti, jolla lisättiin energiatehokkuutta.



KUVA 12. Laserkoneiden sijoittelu ja kaasunpoisto

Kaikki työkoneet vaativat oman työalueensa, jolla pienennetään työtaturmien riskiä. Koneiden sijoittelussa otettiin huomioon käytön helppous ja työtila unohtamatta niiden vaikutusta koneen käyttöturvallisuuteen.

5.4 Koneiden huollettavuus ja käyttö

Työkoneiden kunnossapidon ja käytettävyyden optimointi on suuri osa tehtaan tuottavuudesta. Koneiden huolto täytyy sujua aina ripeästi ja mieluiten ilman seisakkia. Layout-suunnittelussa koneiden ympärille jätettiin vapaata tilaa huoltotöiden ja työkoneiden käytön helpottamiseksi. Avonaisessa hallissa työkoneita ei ole suljettu omiin tiloihin, joten työalueen rajat täytyy rajata viereisten työpisteiden ja työkoneiden mukaan.

Koneiden voimalähteet on sijoitettuna työkoneiden takaosaan, jolloin ne eivät hankaloita koneen käyttöä ja parantavat työturvallisuutta. Huollon aikana tarvitaan kuitenkin riittävä tila osien vaihtoon ja huoltolaitteiden siirtelyyn koneen ympärillä.

Työstökoneen käyttöalueella on varattava tilaa myös erilliselle työtasolle, työtilaa aihoiden käsitteilyyn sekä kuormalavatilaa tavarankuljetusta ja pakkaamista varten. Muovijätteen keräämiselle tarvitaan jokaisella työpisteellä oma roskakori tai lava, jonka kuljetus kierrätyspisteelle tulisi olla vaivatonta.

Tehtaalla syntyy päivittäin suuret määrät muovijätettä. Pöytäjyrsinten ja CNC-koneiden käyttö tuottaa muovilastua ja pölyä, joiden siivoaminen päivittäin jokaisen työvuoron jälkeen on erittäin tärkeää. Jokaisen työntekijän vastuulla on siivota oma työpiste aina työvuoron päätyttyä. Lastujen kertyminen ahtaisiin paikkoihin voi johtaa käyttöturvallisuusriskeihin ja vaikuttaa huomattavasti esimerkiksi paloturvallisuuteen. Koneiden sijoittelussa oli otettava huomioon imurin ja paineilman käyttö puhdistuksessa.

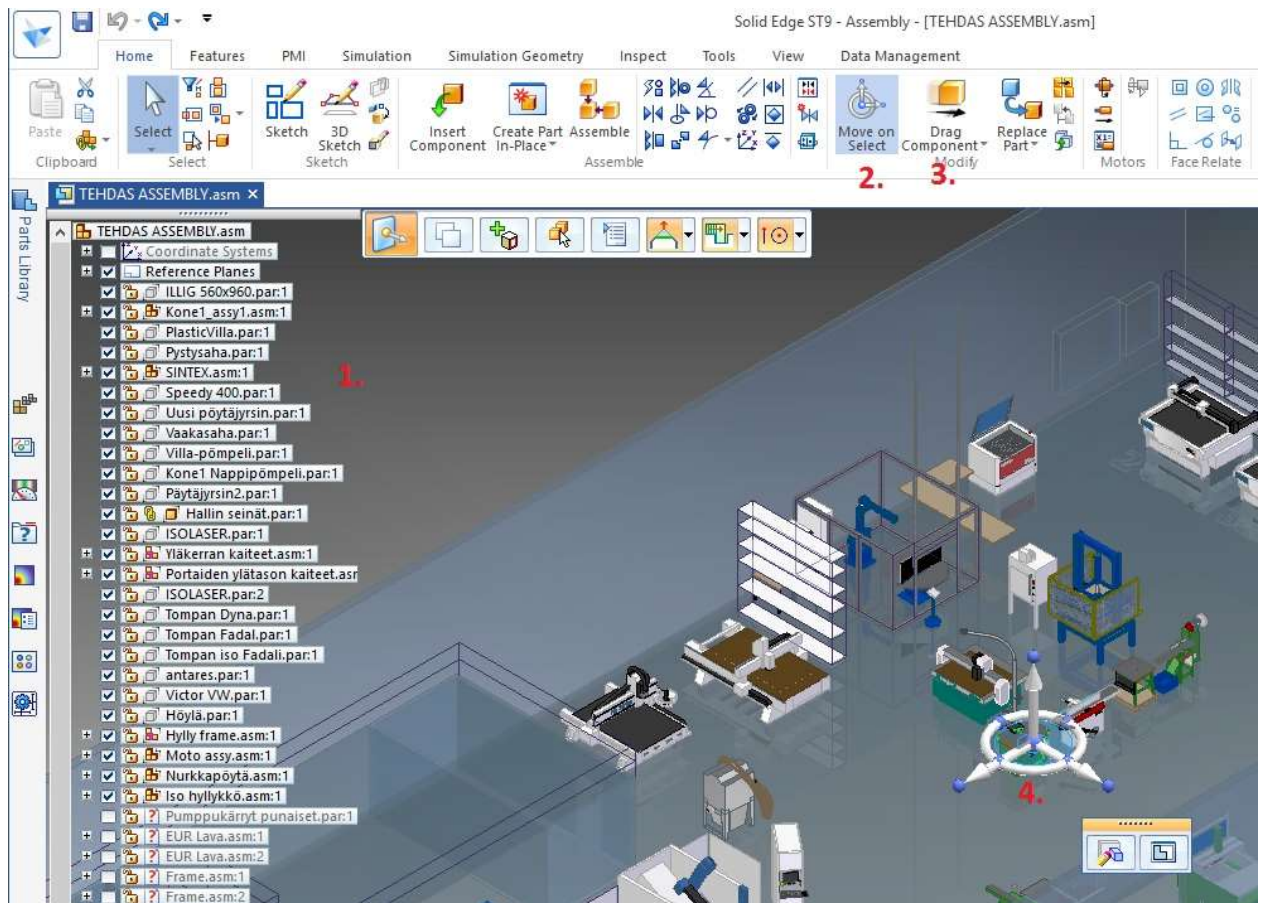
6 3D-MALLI

Tehtaan 3D-mallin tarkoitus oli helpottaa tehtaan tilojen hahmottamista todellisten mittojen mukaan. Koneista haluttiin myös tehdä mahdollisimman tarkasti aidon näköisiä, jotta tarvittaessa tehtaan 3D-mallia voisi käyttää tehtaan esittelyyn ilman tehtaalla käyntiä ja toimeksiantajan web-sivuilla.

Työkoneet mallinnettiin Solid Edge -CAD-ohjelmalla. Koneet mallinnettiin yksitellen ja lisättiin kokoonpanoon. Kokoonpanon pohjalle mallinnettiin tehtaan kiinteät seinät kokonaistilan tarkastelua varten.

3D-kokoonpanon käytön helpottamiseksi koneet on sidottu pohjistaan hallin lattiaan, joten niiden siirtäminen onnistuu ainoastaan raahaamalla niitä lattiaa pitkin. Kuvassa 13 näkyvät numeroidut vaiheet tehtaan 3D-kokoonpanon käyttöä varten seuraavasti:

1. Osapuusta tai kokoonpanosta valitaan klikkaamalla haluttu kone.
2. Move on Select -työkalulla voidaan 3D-mallia kääntää haluttuun asentoon.
3. Drag Component työkalulla voidaan haluttua 3D-mallia raahata pitkin 3D-mallin lattiaa haluttuun paikkaan.
4. Move on Select -työkalu antaa valittuun 3D-malliin käyttöpyörän. Klikkaamalla haluttua suuntanuolta voidaan 3D-mallia siirtää haluttuun suuntaan. Klikkaamalla rengasta voidaan 3D-mallia kääntää 360 astetta kursoria liikuttamalla.



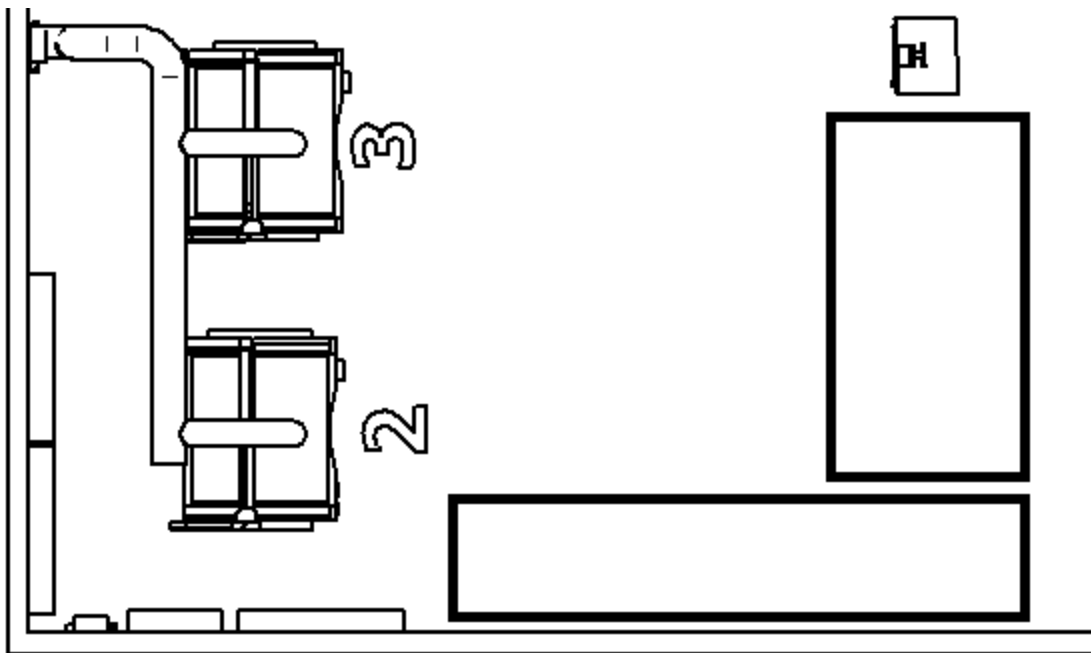
KUVA 13. Kokoanpanomallin käyttöpaneeli

7 VALMIS LAYOUT

Valmis layout myötäilee vanhaa tehdasta isokokoisten ja painavien tyhjiökoneiden sekä CNC-koneiden pystyessä omilla paikoillaan. Uusien sijoitteluiden myötä tehtaasta tuli virtaviivaisempi ja alussa läpikäytyjä epäkohtia saatiin korjattua. Työvaiheiden yhdistyttyä materiaalia ei tarvitse liikutella ahtaassa hallissa työpisteeltä toiselle niin paljon. 3D-kokoonpanomallista käännettyjä 2D-piirustuksia on helppo sommitella myös tulevaisuudessa. Koska tehtaassa ei ole sisäseiniä koneiden solumaiseen eristämiseen päädyttiin käyttämään hyväksi tehtaan ulkoseiniä ja tekemään layoutista rengasmaisen. Materiaalikuljetusetäisyyksien koneelta toiselle pyrittiin pitämään mahdollisimman lyhyinä.

7.1 Laserleikkaus ja särmäys

Lasernurkkaus uudistuu toisen ison laserleikkaimen saapuessa ja uuden ilmanvaihtosysteemin valmistuttua. Lasernurkkauksen yhteyteen siirretään lämpöraudat ja niiden tarvitsemat taivutuspyödyt ja telineet. Näin ollen valmiit aihiot voidaan siirtää laserleikkauksesta suoraan taivutustyöstöön ilman erillistä lavaa tai siirtopöytää. (Kuva 14.)



KUVA 14. Laserkoneiden ja särmäspöytien työtilat

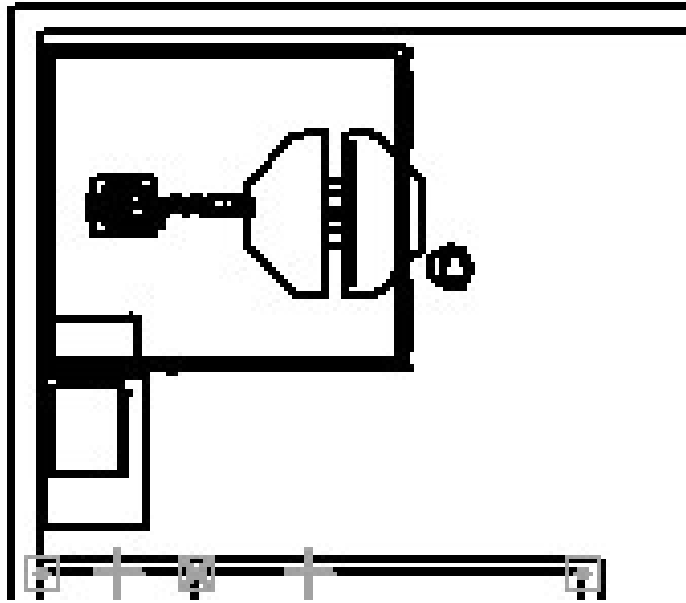
Uunilla valmistettaviin tuotteisiin tarvittavat muottitelineet siirrettiin laserkoneiden läheisyyteen su-
luttamaan työvaiheita. Särmäykseen tarvittava tila saadaan siirtämällä Trotec laserkone varasto-
hallin puolelle, jossa se toimii oma yksikkönään Exit-kylltien valmistuspisteenä. Näin päästään
eroon pölyherkän laserleikkaimen turhista huoltokustannuksista ja pääasiassa yhden tuotteen käyt-
töön keskitetty tuotanto voidaan asettaa omaksi solukseen.

Kylltien tekemiseen suunniteltiin oma työ- ja valopöytä, joka helpottaa tuotteen valmistuksessa ja
laaduntarkkailussa. Lopullisessa layoutissa laserkoneista Trotec on siirrettyä varastohallin puo-
lulle.

7.2 Robotti

Robotilla työstetään pienempiä tuotteita lähes samoin kuin CNC-koneilla. Robotilla työstettävät
tuotteet ovat ohutlevystä tehtyjä tyhjiömuovauskappaleita. Tuotteet ovat kiinnitettynä robotin
edessä olevaan työstöpöytään, josta robotti ajaa tuotteen rajaukset. Erona CNC-koneisiin on robo-
tin käyttämä työstöpöytä, joka ei ole kiinteässä rungossa robotin kanssa. Robottia hallinnoidaan
suojahäkin ulkopuolelta ja työkierron aloittamisen jälkeen robotti toimii itsenäisesti.

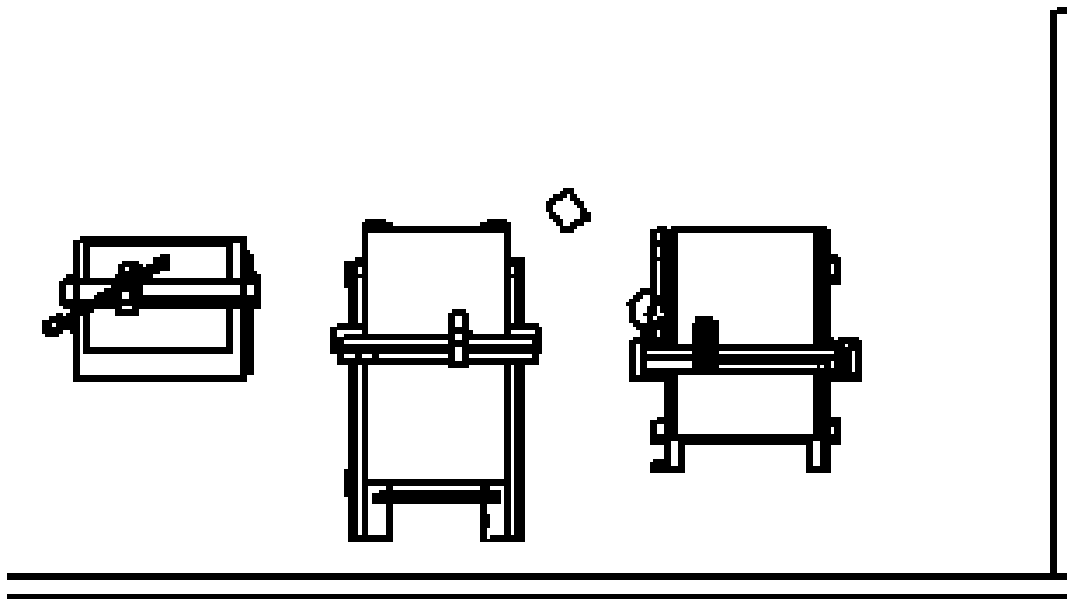
Koska robotin käyttö on tuotannossa jatkuvaa, oli sen siirtäminen omaksi solukseen järkevintä.
Robottiyksikön siirtäminen saattaa tuottaa ongelman työstöohjelmien kanssa, jotka perustuvat ase-
tettuun nollapiste-koordinaattiin. Siirtäessä fyysinen nollapiste saattaa muuttua, jolloin työstöradat
täytyisi ohjelmoida uudelleen. Tätä on yritetty välttää hitsaamalla runko yhtenäiseksi siirtoa ajatel-
len, mutta raskaan yksikön siirto voi kaikesta varoimista huolimatta muuttaa teräsrakenteen muo-
toa. Omana yksikkönään robotin käyttö on helpompaa ja sujuvoittaa materiaalivirtaa myös jyrinten
ja laserkoneiden välillä. (Kuva 15.)



KUVA 15. Motoman-robotti uudessa layoutissa

7.3 Pöytäjyrsintä

Pöytäjyrsimet aseteltiin omaksi yksiköksen vain pienin muutoksin. Kaikki jyrsimet siirrettiin samaan linjaan osoittamaan seinää kohti, jolloin linjassa olevien jyrsinten eteen saatiin tilaa työpisteille sekä materiaalin ja aihoiden käsittelyyn. (Kuva 16.)



KUVA 16. Pöytäjyrsimet

7.4 Tulosten analysointi

Tehtaan yleisilme ei valmiissa layoutissa muuttunut paljon mutta tarvittavaa lisätilaa ja joustavuutta materiaalivirtaan saatiin merkittävästi. Tyhjiömuovauskoneet säilyivät omilla paikoillaan, koska niiden toiminta on tehtaalla suurimmalla käyttöasteella. Robotin siirtäminen omaan nurkkaansa oli riskialtista mutta sen tuoma lisätila ja toimintojen sulautuminen tulee parantamaan tehtaan toimintaa huomattavasti. Käytännössä riskin toteutuminen tulee ilmi vasta robotin siirtämisen ja uudelleen käyttöönoton jälkeen.

Suunnittelussa päästiin layout-perusteiden mukaisiin tuloksiin, joilla pyrittiin mm. lyhentämään materiaalien ja tuotteiden siirtoetäisyyksiä. Samankaltaiset tuotteet valmistetaan samoissa paikoissa ja yhtenevät työvaiheet on siirretty lähemmäksi toisiaan. Tehtaan toiminta perustui paljon solulayout tyyppiseen ratkaisuun, koska tuotteet tehdään sarjoissa ja uuden sarjan aloittamiseen vaadittava asetusten vaihto on lyhyt. Solulayout näkyy myös yhdistettynä työvaiheina esimerkiksi uuden layoutin lasernurkkauksessa, jossa laserkoneet ja särmäys ovat yhdistettynä. Tehtaan toimintaa voidaan osittain kuvata myös funktionaalisen layout-tyyppinä samanlaisten tuotantokoneiden keskittyä omille alueilleen ja asiakkaille satunnaisesti valmistettavia yksittäiskappaleita voidaan valmistaa helposti.

Raskaiden koneiden jättäminen omille paikoilleen on tällä hetkellä paras vaihtoehto. Tyhjiömuovauskoneiden siirtäminen on järkevintä vain siinä tapauksessa, jos tehdasta tulevaisuudessa laajennetaan merkittävästi. Tyhjiökoneiden käyttöaste tulee olemaan jatkossakin suurin ja tehtaan toiminnan kannalta helpoin ratkaisu on mukauttaa tuotanto niiden ympärille.

Tehtaan 3D-malli onnistui odotettua paremmin. Laitteet ovat helposti tunnistettavia ja tehtaan layout hahmottuu selkeämmin kuin 2D-piirustuksesta. Tehtaan 3D-kokoonpanotiedostosta tuli isokokoinen, joten se on raskas ja toimii hitaasti heikkotehoisilla tietokoneilla. Kokoonpanotiedoston käytön hitaus johtuu luultavasti Solid Edgen tämänhetkisestä versiosta ja luultavasti ongelma ainakin helpottaa seuraavan version myötä.

8 YHTEENVETO

Opinnäytetyössä tehtiin toimeksiantajalle layout-suunnitelma ja 3D-malli tehtaasta. Layout-suunnitelman kehitysidea lähti liikkeelle parista epäkohdasta, joista kriittisimpiä olivat laserkoneen pölyherkkyys ja sen toistuvasti aiheuttamat kunnossapitokustannukset. Uusien laitehankintojen myötä layout-suunnittelua alettiin työstää tehtaassa työntekijöiden ja toimeksiantajan esittämien epäkohtien mukaan. Työ hahmottamisen helpottamiseksi ja tehtaassa visuaaliseen esittelyyn tehtiin tehtaasta 3D-malli.

Tehtaassa layout-suunnitelman toteuttaminen 3D-mallia apuna käyttäen osoittautui hyväksi toimintamalliksi. Valmiin tehdaskokoonpanon pyörittely 3D-tilassa hahmotti kokonaistilan käyttöä paljon paremmin kuin pelkän 2D-piirroksen käyttö olisi tehnyt. Mallintaminen ilman koneiden mittakuvia osoittautui työlääksi ja vaati kuvaamista, piirrosten tekoa ja mittaamista. Apupiirrosten, -kuvien ja -mittojen avulla saatiin kuitenkin mallinnettua koneet hyvin aidonnäköisiksi. Tehtaassa 3D-mallista tuli visuaalisesti toimiva ja se soveltuu tarvittaessa myös tehtaassa esittelyyn ilman käyntiä tehdastiloissa.

Tehtaassa avoin hallitila asetti layout-suunnittelulle sekä haasteita että vapautta. Tuotantokoneiden asettelu vaati työturvallisuuden huomioimisen, joten täysin vapaasti ei koneita päässyt sijoitteluun. Suunnitelmassa päädyttiin käyttämään hallin ulkoseiniä, mikä teki layoutista rengasmaisen, joka helpotti tavaran kuljetuksessa varastotiloista työkoneille ja takaisin. Perättäisiä työvaiheita saatiin sijoitettua lähemmäs toisiaan, millä helpotettiin tavaran liikkumista työpisteeltä toiselle.

Tehtaassa toimintaan tutustuminen kesätyön aikana auttoi projektin läpivientiä ja ongelmakohtien ratkomista. Projekti onnistui hyvin ja aikataulussa pystyttiin lähes suunnitelmien mukaan.

LÄHTEET

1. Merocap muutamalla sanalla. Merocap. Saatavissa: <http://merocap.fi/yritys> Hakupäivä 12.9.2016.
2. Haverila, Matti J. – Uusi-Rauva, Erkki – Kouri, Ilkka – Miettinen, Asko 2005. Teollisuustalous. Tampere: Infacs johtamistekniikka Oy.
3. Tilauksen kohdennuspiste. Logistiikan maailma. Saatavissa: [http://www.logistiikanmaailma.fi/wiki/Tilauksen_kohdennuspiste_\(OPP\)](http://www.logistiikanmaailma.fi/wiki/Tilauksen_kohdennuspiste_(OPP)) Hakupäivä 12.9.2016.
4. Tilauksesta valmistus. Logistiikan maailma. Saatavissa: [http://www.logistiikanmaailma.fi/wiki/Tilauksesta_valmistus_\(MTO\)](http://www.logistiikanmaailma.fi/wiki/Tilauksesta_valmistus_(MTO)) Hakupäivä 12.9.2016.
5. Tilauksesta suunnittelu. Logistiikan maailma. Saatavissa: [http://www.logistiikanmaailma.fi/wiki/Tilauksesta_suunnittelu_\(MTO\)](http://www.logistiikanmaailma.fi/wiki/Tilauksesta_suunnittelu_(MTO)) Hakupäivä 12.9.2016.
6. Alipainemuovaus eli tyhjiömuovaus. Draft Tech. Saatavissa: <http://www.draft-tech.fi/alipainemuovaus.htm> Hakupäivä 12.9.2016.
7. Ihalainen, E. – Aaltonen, K. – Aromäki, M. – Sihvonen, P. 2003. Valmistustekniikka. Otatieto. Oy yliopistokustannus University Press Finland.
8. Parempi työ. Työturvallisuuskeskus. Saatavissa <http://www.ttk.fi> Hakupäivä 9.11.2016.