

Dima Kangasoja

**OHUTLEVYKOTELON TYÖVAIHEIDEN
JÄRKEISTÄMINEN**

**Opinnäytetyö
CENTRIA AMMATTIKORKEAKOULU
Tuotantotalous
Toukokuu 2013**

Tiivistelmä

CENTRIA UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES	Aika Toukokuu 2013	Tekijä Dima Kangasoja
Koulutusohjelma Tuotantotalous		
Työn nimi Ohutlevykotelon työvaiheiden järkeistäminen		
Työn ohjaaja Heikki Salmela		Sivumäärä 27 + 3
Työelämäohjaaja Jari Savukoski		
<p>Opinnäytetyö tehtiin Mecanova Oy:lle, joka on yksi Pohjoismaiden johtavista ohutlevy sopimusvalmistajista. Yrityksellä on kaksi tuotantolaitosta, jotka sijaitsevat Nivalassa Suomessa ja Kecskemetissa Unkarissa.</p> <p>Työn tavoitteena oli järkeistää kotelomaisen ohutlevykotelon työvaiheet virtauksen kannalta mahdollisimman tehokkaaksi ja poistamaan tuotteeseen liittyvät KET-ongelmat tuotannosta. Työhön kuului myös tuotantosolun mallintaminen.</p> <p>Työ toteutettiin soveltamalla solutuotantoa. Työssä kerrotaan tuotantoteknisistä sovelluksia ja siitä miten niitä sovellettiin tässä työssä.</p> <p>Työn tuloksina oli 3D-malli solusta ja layout-pohjapiiros. Lisäksi solusta tehtiin simulaatio uusia kappaleaikoja käyttäen. Lopputuloksina olivat arviot solun tuotosta ja hyödyt, kun tuotanto tuotteelle muutetaan solutuotannoksi.</p> <p>Osa julkisen työn materiaalista on salattu toimeksiantajan pyynnöstä.</p>		
Avainsanat		
Solutuotanto, Layout, virtauttaminen, keskeneräinen tuotanto (KET)		

Abstract

CENTRIA UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES	Date May 2013	Author Dima Kangasoja
Degree programme Industrial Management		
Name of thesis Rationalize Work Progress of Thin Sheet Casing		
Instructor Heikki Salmela		Pages 27+3
Supervisor Jari Savukoski		
<p>This Thesis was commissioned by Mecanova Oy, which is one of the leading thin sheet contract manufacturers in Scandinavia. The Company has production facilities, which are located in Nivala in Finland and Kecskemet in Hungary.</p> <p>The objective of the study was to rationalize work order of thin sheet casing so that it would be most efficient from the point of view of the flow and that problems caused by WIP in production would be solved. In addition, the Thesis included modeling production cell.</p> <p>Thesis was implemented by using cell production. Thesis describes technical applications of production and how they are applied in the study.</p> <p>As a result of the Thesis, a 3D-model of the cell and a layout were created. In addition, simulation of the cell was made by using the new cycle time of a single piece. The final outcome was an estimation of the yield of the cell and of the benefits resulting from changing the production into cell production.</p> <p>Part of the public thesis material is secret by the client's request.</p>		
Key words		
Cell production , Layout, Flow, Work in progress (WIP)		

**TIIVISTELMÄ
ABSTRACT
SISÄLLYS**

1 JOHDANTO	1
2 YRITYSESITTELY	2
3 TUTKIMUSONGELMA	3
3.1 Kehittämiskohteiden esittely	3
3.1.1 Välivarasto	4
3.1.2 Pistehitsaus	5
3.1.3 Niittauskokoontaminen	5
3.2 Tuotannon hukka	6
3.3 Tuotannon pullonkaulat	6
4 RATKAISUMALLIEN KÄSITTELY	8
4.1 Jaettu tuotantosolu	8
4.2 Yksi tuotantosolu	9
4.3 Tuotantotekniset ajattelumallit	10
4.4 Solutuotanto	10
4.5 Solulayautin suunnittelu	11
4.6 JOT-ajatelutapa	12
4.6.1 Layoutin muuttaminen	13
4.6.2 Aseteaika	14
4.6.3 Imuohjaus	14
4.6 Lean-menetelmä	14
4.6.1 Leanin työkalut	15
4.6.2 Henkilöstö resurssit	16
4.6.3 Prosessit	16
5 TUOTANTOSOLUN MALLINTAMINEN	17
5.1 Yleistä	17
5.2 Solun mallintaminen	17
5.2.1 Malli A	18
5.2.2 Malli B	19
5.2.3 Malli C	20
5.3 Uusien kappaleaikojen kellottaminen	21
5.4 Tuotannon simulointi	21
6 TULOKSET	23
6.1 Layoutin valinta	23
6.2 Simulaation tulokset	24
7 POHDINTAA JA JOHTOPÄÄTÖKSET	26
LÄHTEET	27

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö on tehty Mecanova OY:lle, joka on yksi Pohjoismaiden johtavista ohutlevytekniikka valmistajista. Yritys valmistaa ohutlevykomponentteja, mekaniikkaa sisältäviä kokonaisuuksia, järjestelmiä sekä kokoonpanoja teknologiateollisuuden asiakkaiden tarpeisiin. Yrityksellä on kaksi tuotantolaitosta, jotka sijaitsevat Nivalassa Suomessa ja Kecskemetissa Unkarissa.

Mecanovalla toteutetaan Lean-tuotanto ajattelutapaa, jossa pyritään jatkuvasti kehittämään yrityksen toimintaa sekä tuotantoa kustannustehokkaaksi. Leanin keinot ovat hukan vähentäminen, turhien materiaalsiirtojen poistaminen, välivarastojen pienentäminen ja työntekijöiden monipuolisen ammattitaidon soveltaminen tuotannossa.

Opinnäytetyössä pureudutaan erään yrityksen valmistaman volyymituotteen tuotannon järjeistämiseen tuotantotiloissa soveltaen tuotantoteknisiä ajattelutapoja, jotka ovat linjassa yrityksen tavoitteisiin ja valmistusmenetelmiin. Työn tarkoitus on tehdä Mecanova Oy:n kehitystiimille työkaluksi layout-suunitelma ja järjeistää tuotteen kokoonpanossa tarvittavat työvaiheet yhdeksi toimivaksi tuotantosoluksi. Opinnäytetyön työtoteutuksessa käytettiin 3D-CAD-ohjelmistoa layoutin suunnittelemiseen, uusien standradityöaikojen kellottamista sekä simulaatio ohjelmistoa tarvittavien loppuarviointien tekemiseen. Opinnäytetyö käsittelee yhtä ratkaisumallia tuotannon järjeistämiseen, ja yhtänenäinen tuotantosolu on yksi ratkaisu tutkimusongelmaan.

Opinnäytetyö rajattiin 3D-layoutin tekemiseen, ja sen kautta tuotantovaiheiden järjeistämiseen toimeksiantajan kanssa. Työn osaksi kuului myös uusien standardikappaleaikojen laatiminen. Uusia stantradiaikoja käyttäen pystyttiin laatimaan arvio tuotantosolun hyödyt nykyiseen tilanteeseen verrattuna.

2 YRITYSESITTELY

Mecanova Oy on Pohjoismaiden yksi johtavaista ohutlevytekniikkaan erikoistuneista metallialan yrityksistä, joka valmistaa ohutlevykomponentteja ja laitekokonaisuuksia valikoitujen asiakkaiden tarpeen mukaan. Mecanova tarjoaa asiakkailleen täysimittaisen suunnitteluelinkaaren aina tuotteen suunnittelusta räätölytyyn kustannustehokkaaseen tuotantoon.

Mecanovalla on kaksi tuotantolaitosta, jotka sijaitsevat Suomessa Nivalassa ja Unkarissa Kecskemetissä. Vuonna 2010 yritys työllisti yli 400 henkilöä, ja liikevaihtoa oli 31 milj. euroa. Yrityksen päätoimipiste sijaitsee Nivalssa, jossa on yrityksen R&D- ja suunnittelupalvelut. Nivalan tuotantolaitoksen pinta-ala on n. 18 200 m². Nivalan toimipiste tarjoaa low-, mid- ja high volyymin ohutlevytuotannon, pulverimaalauksen sekä kokoonpanopalveluita.

(Yritysesite, 2010).

3 TUTKIMUSONGELMA

Tässä työssä tutkitaan tuotantomenetelmien tehostamista toimeksiantajayrityksen tuotannossa olevan ohutlevykotelon valmistuksessa sekä tuotannon tehokkaampaa virtauttamista. Ongelmana valmistuksessa on jalostusketjun puolella välissä, missä tuote kokoonpannaan kolmella eri kokoonpanomenetelmällä pistehitsaamalla, TIG- hitsaamalla ja niittaamalla osat yhteen.

Tuotteen kokoonpanon valmistuksessa käytettävät verraten aikaavievät työvaiheet aiheuttavat pullonkaluoja tuotannossa, mikä johtaa keskeneräisentuotannon ja välivarastotarpeen kasvamiseen, tämä taas johtaa edelleen uusiin ongelmatilanteisiin tuotantotiloissa. Välivarasto tuotteen osien säilyttämisessä aiheuttaa myös ongelman, sillä sijaintinsa vuoksi se aiheuttaa työntekijälle ylimääräistä työtä hakea tarvittavat osat tuotteen kokoonpanoa varten.

Vaikkakin tuote on kokenut ajanmittaa rakennemuutoksen ja valmistusmenetelmiä on muutettu jalostusketjun alku ja keskivaiheessa, pullonkaula hitsauskokoonpanossa, suuret välivarastot ja edestakaisen liikkeen aiheuttamat ongelmat ovat edelleen olemassa. Varsinkin tuotannossa tapahtuva edestakainen liike vaikuttaa suoraan kappaleeseen menevään aikaan ja sitä kautta tuotteen läpimenoaikaan.

3.1 Kehittämiskohteiden esittely

Kehittämiskohteet sijoittuvat tuotteen jalostusketjun keskivaiheelle, jossa tuote kootaan ja siirretään eteenpäin pintakäsittelyyn. Tuote koostuu kahdesta eri osasta, ja mallia on kuusi erilaista, jossa tuotteen aihion pituus vaihtelee. Aihioilla on oma niille tarkoitettu välivarasto, josta tarvittava ahiomalli haetaan valmistustarpeen mukaan. Tuotteen kaikki kokoonpanovaiheet tehdään hitsauskokoonpanosolussa.

3.1.1 Välivarasto

Tuotteen aihoilla on oma välivarasto, mihin ne varastoidaan särmäyksen jälkeen (KUVIO 1). Välivarastohyllyssä on käytössä 24 lavapaikkaa, eikä sen kapasiteetti riitä pitämään kaikkea tulevaa tavaraa, vaan osa tavaroista päättyy käytävälle, mikä taas luo puitteet uudelle ongelmalle. Käytävällä olevat tavarat kuvan mukaan aiheuttavat (KUVIO 2.) ongelmia materiaalikululle tuotantotiloissa, mikä voi pahimmillaan aiheuttaa vaaratilanteita. Ongelmana on myös varastohyllyn sijainti kokoonpanopaikasta: tarvittavat aihiot joutuu kuljettamaan työpisteelle n. 40m päästä. Monessa tapauksessa kokoonpanopisteellä toimiva työntekijä joutuu itse hakemaan tarvittavat osat, sillä materiaalinjärjestäjää ei ole aina saatavilla.

Kuva on toimeksiantajan pyynnöstä salattu

KUVIO 1. Aihoiden välivarasto

Kuva on toimeksiantajan pyynnöstä salattu

KUVIO 2. Hyllytilan puute aiheuttaa aihoiden lastaamista käytävälle

3.1.2 Pistehitsaus

Pistehitsauskoonpanossa särmättyjen aihoiden sauma hitsataan kiinni ja siirretetään hitsatut aihiot niittauspisteelle. Ongelmana on ylimääräiseksi jääneiden kappaleiden sijoittelu. Koska seuraava työvaihe on pullonkaulana, ylimääräiset aihiot siirretään takasin välivarastoon ja tästä toimenpiteestä syntyy materiaalin edestakaista liikettä, joka kuormittaa välivaraston kapasiteettia entisestään. Kuvassa (KUVIO 3.) näkyy pistehitsauksesta syntyvää keskeneräistä tuotantoa. Kun välivaraston kapasiteetti täyttyy niin ylimääräiset ja seuraava työvaihdetta odottavat aihiot jäävät työpisteelle keskeneräisenä tuotantona.

Kuva on toimeksiantajan pyynnöstä salattu

KUVIO 3. Pistehitsauksesta jääneet ylimääräiset kappaleet

3.1.3 Niittauskoonpano

Niittauskoonpanovaihe on pullonkaulana koko kokoonpanoketjussa, koska työvaihe on hidas. Pullonkaulailmiö taas lisää entisestään varaston kuormitusta ja aiheuttaa häiriötä

materiaalinvirtaukselle. Niittauspisteen pullonkaulailmiö myös lisää keskeneräisen tuotannon määrää hitsaussolun sisällä. Lisäksi niittauskokoontamossa esiintyy poikkeava ilmiö, jossa kokoontamo suoritetaan ilman työvaiheenleimausta ja tavallaan tehdään tuotteita ”sisään”. Tämä ilmiö taas näkyy keskeneräisenä tuotantona jota ei voida jalostaa eteenpäin ilman työkorttia.

3.2 Tuotannon hukka

Tuotannon hukalla tarkoitetaan kaikkea, mikä ei ole tuottavaa toimintaa tai joka ei tuo lisäarvoa tuottavalle toiminnalle asiakkaan näkökulmasta katsottuna. Tuotannon hukkaa esiintyy kaikkialla tuotannossa, niin prosesseissa kuin työvaiheissa, ja niiden tunnistaminen on tärkeää parantakseen organisaation kustannustehokkuutta. Hukan eri muotoja voidaan eritellä Toyotan ideologian mukaan seitsemään pääosaan, jotka ovat ylituotanto, odotus, kuljetus, tuhlaus jalostusprosesseissa, varastointi, tarpeettomat liikkeet tuotannossa ja virhelliset kappaleet (Tekninen tiedotus 43/84 1984, 76).

3.3 Tuotannon pullonkaulat

Tuotannon pullonkaulat määritteenä tarkoittavat sellaista tilannetta, että joku tuotantovaihe suoriutuu työstä hitaammin kuin muut järjestelmässä olevat vaiheet (Bottleneck Theory in Operation Management, 2013). Kuten tässä työssä ilmenee, niittaus työvaihe on muita työvaiheita hitaampi tuotteen jalostusketjussa ja niin ollen aiheuttaa pullonkaulailmiön tuotannossa. Tuotannossa pullonkaulat ovat varsin ongelmallinen ilmiö ja voivat pahimmillaan häiritä koko tuotantolaitoksen jalostusprosesseja.

Pullonkaulailmiöön aiheuttavia syitä voi olla useita. Ne voivat olla hetkellisiä, joita ovat esim. konerikko tai työntekijän sairauspoissaolo, tai sitten pitkäkestoisia ja jatkuvia. Jos pullonkaulat ovat jatkuvia, niihin on syytä puuttua, koska mitä kauemmin pullonkaula on vaikuttamassa, sitä isompi riski on sen myötä ilmentyä uusia ongelmia ja häirötilanteita tuotannossa.

Merkittävin haitta, joka syntyy pullonkauloista, on keskeneräinen tuotanto (KET). Kesken-eräisellä tuotannolla tarkoitetaan materiaalia, joka on aloitettu jalostamaan tuotteeksi, mutta se ei ole kokonaan valmis. Kaikki jalostusketjun alussa oleva materiaali ja vaiheessa olevat tuotteet tuotannossa luetaan keskeneräiseksi tuotannoksi. KET hidastaa monessa tapauksessa läpivientä tuotannossa, varsinkin ohutlevytekniikassa, jossa tehdään pääosin piensarjoja ja pyritään mahdollisimman nopeaan läpivientiaikaan. (Work in Progress Definition, 2013.)

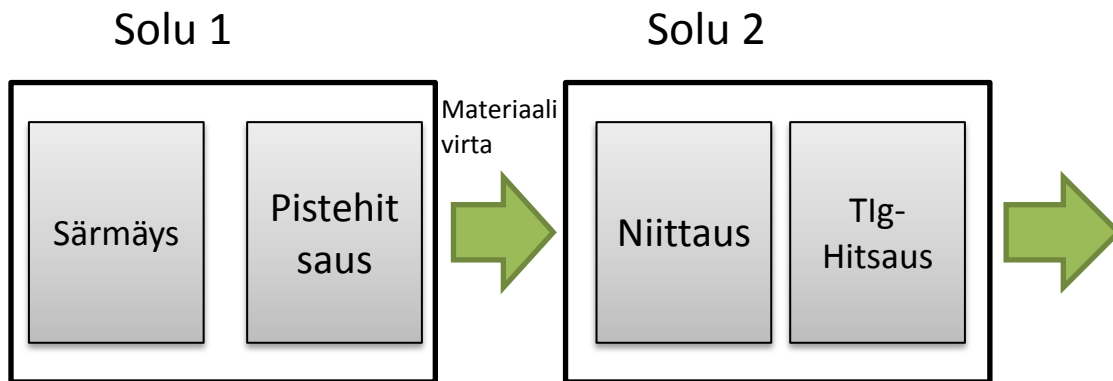
4 RATKAISUMALLIEN KÄSITTELY

Tutkimusongelma koostuu useista eri epäkohdista, ja ratkaisuja löytyy useita tuotantoteknisistä sovelluksista. Tavoitteena on myös löytää sellainen malli, joka palvelee valmistusmenetelmiä paremmalla tuotannon virtauttamisella ja on linjassa yrityksen tuotannollisen ajattelutavan kanssa jossa sovelletaan Lean-menetelmää. Mekanovalla sovelletaan solutuotantomallia, jossa tuotanto on jaettu soluihin ja sen kautta ratkaisuna ongelmaan pyritään soveltaa solutuotantoa, sekä hyödyntämään nykyaikaisia tuotantoajattelutapoja. Ratkaisumalleja solulle oli kaksi mahdollista ja toiseen niistä päädyttiin tekemään toteutussuunnitelma.

4.1 Jaettu tuotantosolu

Yksi vaihtoehto oli jaettu tuotantosolu, jossa tuotteen valmistus tapahtuu kahdessa kokoonpanosolussa (KUVIO 4.) mukaan. Ajatuksena oli siirtää pistehitsaus robottisärmäyksen kanssa samaan soluun, jossa aihiot pistehitsataan heti särmäyksen jälkeen. Kokoonpanosolussa tuote niitataan ja TIG- hitsataan pysyvä samana tässä mallissa.

Suurimmat muutokset tällä mallilla tulisivat väliavarastolle, jossa aihoiden varastoinnille tulisi huomattavia muutoksia. Ajatuksena oli, että aihiot varastoidaan suoranina levyinä ja aihioita valmistetaan tarpeen mukaan. Etuina tällä järjestelyllä olisi huomattavasti pienempi väliavaraston koon tarve verrattuna nykyiseen jossa aihiot varastoidaan särmätyinä. Toinen huomattava etu on parempi tuotannon virtauttaminen jossa syntyy mahdollisimman vähän keskeneräistä tuotantoa, koska aihiot valmistetaan tarpeen mukaan ja ylimääräisiä kappaleita ei synny. Toteutuksen kannalta tässä mallissa päästäisiin tavoitteeseen pienillä layout muunnoksilla.

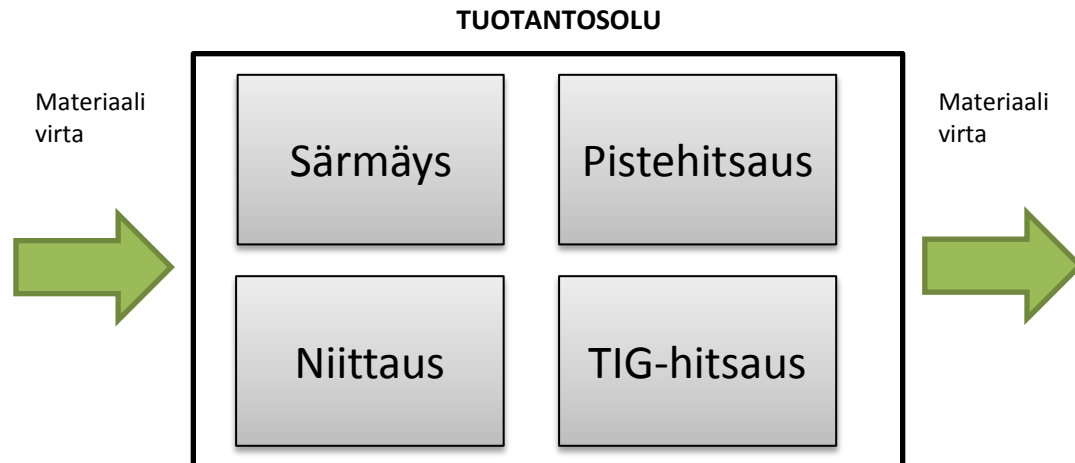


KUVIO 4. Jaettuun tuotantosolun työvaiheistus

4.2 Yksi tuotantosolu

Ajatuksena oli myös tehdä tuotteille oma kokoonpanosolu, jossa tehdään kaikki kokoonpanon työvaiheet sekä aihoiden särmäys tehdään samassa solussa (KUVIO 5.) mukaan. Tämän ratkaisun edut olisivat samanlaiset kun edellä mainitussa jaetussa solumallissa, erotuksella että tämä malli vaatii oman tilan ja usean koneen uudelleensijoittelun. Hyödyt tässä soluratkaisussa olisivat mittavemman jaettuun soluratkaisuun verrattuna.

Yhtenäisessä solussa tuote käy läpi kaikki kokoonpanovaiheet, mukaan lukien särmäystyövaiheen. Tällä päästään parhaaseen mahdolliseen tuotannon virtauttamiseen, sillä tuote siirtyy valmiina seuraavaan työpisteeseen ilman mitään välisiirtoja. Vaikka tämä malli onkin haasteellisempi totutukseltaan, niin se palvelisi parhaiten yrityksen tavoitteita käyttäen Lean-mallia, jossa solu vastaa itsenäisesti tuotteen valmistamisesta ja näin keventää työnjohdon tarvetta tuotannonohjaukseen. Tähän ratkaisumalliin päädyttiin ja alettiin jalostamaan ajatusta solun toiminnasta, miten työvaiheet järjestetään solun sisällä. Sekä keräämään tarvittavat tiedot, jolloin voitiin arvioida solun mahdollisia hyötyjä nykyiseen tilanteeseen verrattuna.



KUVIO 5. Yhtenäisen tuotantosolun työvaiheistus

4.3 Tuotantotekniset ajattelumallit

Nykyisessä teollisuuden kilpailutilanteissa vaaditaan yrityksiltä nopeita toimitusaikoja, korkeaa laatua, kustannustehokasta tuotantoa ja korkeaa asiakastytyväisyyttä. Nämä vaatimukset aiheuttavat paineita yrityksille kehittää tuotantoteknologiaa ja mukautua alati muuttuviin markkinoiden vaatimuksiin kilpailukykyisillä hinnoilla. (Tekninen tiedotus 14/87, 3.) Käyttämällä hyväksi erilaisia tuotantomalleja, yhdistelemällä niitä ja räätälöimällä niistä toimiva kokonaisuus yritykselle sopivaksi, tulee mahdolliseksi saavuttaa parempia tuloksia kuin investoimalla uutta tuotantokalustoa tai palkkamalla uutta työvoimaa vastatakseen asiakkaiden tarpeisiin.

4.4 Solutuotanto

Tuotantosolulla tarkoitetaan yksikköä, joka toimii organisaattorisesti mahdollisimman itsenäisesti. Solun toiminnalle on tavallista, että solussa on enemmän koneita tai työpisteitä mitä työntekijöitä, jotka tekevät useampaa työtä usealla työpisteellä solun sisällä tasataakseen solun sisäistä kuormitusta (Kauppinen, P., Kivistö, I., Strömberg, O. 1985, 18.) Solulle on tavanomaista, että sitä kuormitetaan jonkun työvaiheen tai koneen mukaan, esimerkiksi tässä opinnäytetyön tapauksessa kuormituksen määrää niitaustyövaiheelle.

Solulle tyypillisiä tunnusmerkkejä ovat työntekijöiden korkea ammattitaito, jota monesti vaaditaan monipuolisen tuotantokaluston ja työvaiheiden tuntemuksen takia. (Kauppinen, P., Kivistö, I., Strömberg, O. 1985, 18). Solulla on myös yleensä oma prosessikuvaus laadun varmistamiseksi, riippuen solun koosta ja työvaiheiden vaativuudesta.

Tuotantosolupainotteisella valmistuksella on myös vaikutusta työntekijöihin mikä monesti jää yrityksiltä huomaamatta. Monipuolisilla työvaiheilla ja sopivalla vastuun antamisella työntekijälle saadaan hyviä tuloksia aikaan pidemmällä aikatahtimella, mitä työn osoittelulla ja yksitoikkisilla työvaiheilla. Nykyaikainen tiedon määrä, yleissivistys ja tyydyttyneet persustarpeet aiheuttavat paineita työoloille teollisuusmaissa, joka taas näkyy työntekijöiden vaihtuvuutena ja poissaolojen määränä. (Kauppinen, P., Kivistö, I., Strömberg, O. 1985, 18).

4.5 Solulayoutin suunnittelu

Solulayoutilla tarkoitetaan eräänlaista räätälöityä tuotantolinjaa, joka vaatii oman työvaihesuunnittelun ja oman layoutin. Solun oman layoutin pitää myös olla linjassa tuotantolaitoksen koko layoutsuunnitelman kanssa. Tuotantosolun oman layoutin suunnitteleminen on järkevintä toteuttaa, jos kyseessä on yhtenäinen- tai volyymituote, jolla on useita työvaiheita. Solulayoutin järkevällä sijoittelulla on mahdollista saada parempia tuloksia aikaan, kuin tavallisella funktionaalisella layout sijoittelulla (Rantala, V. 2010.)

Solua suunniteltaessa on otettava huomioon resurssit ja tavoitteet. Tavoitteiden määrittely on ensimmäinen askel, joka sitten toimii suunnittelun pohjana ja lopputuloksen mittarina. Resursseja määriteltäessä on otettava huomioon tarvittava tila solulle, henkilöstö, työkoneet ja kuljetuskalusto. Resursseja määritellessä on myös tärkeää ottaa huomioon henkilöstön koulutus, sillä tuotantosolulle on ominaista sisältää useiden työvaiheiden hallintaa solussa työskentelevälle henkilöstölle. (Tekninen tiedotus 24/84, 13-14).

Järkevällä solulayoutilla saadaan aikaan parempi läpimenoaika ja pienempi varastoinnin tarve. Läpimenoajan lyhentymisen on selitettävissä pienemmällä aseteajoilla ja tavaran kuljettamisen tarpeen vähentymisellä. Yhtenäisen tuotteen valmistamisella ja työvaiheiden vierekkäin sijoittelulla on merkittävä hyöty aseteajan pienentymisessä. Työvaiheiden

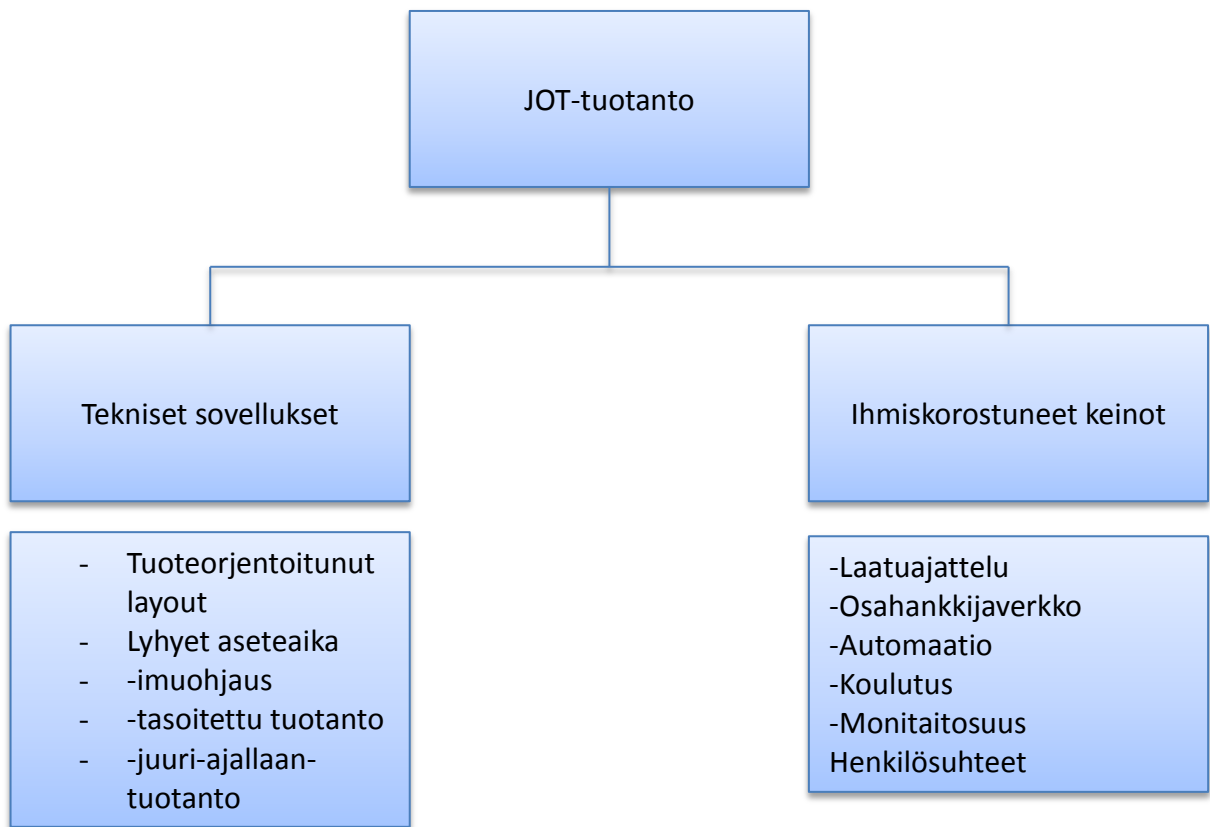
vierekkäin sijoittelu vähentää myös kuljetuksen tarvetta työvaiheiden välillä, joka vaikuttaa suoraan läpimenoajan pienentymiseen. Solulayoutilla saadan aikaan myös joustavuutta itseohjautumisen kautta, jossa solu voi joustavasti säätää kuormitustaan ja vaihdella tuotteiden mallia tarpeen mukaan (Rantala, V. 2010.)

4.6 JOT-tuotantoajattelutapa

Juuri oikeaan tarpeeseen - menetelmä (JOT) joka tunnetaan myös nimeltä Toyota valmistus menetelmä tai Just in time (JIT), on peräisin Japanista jonka on Taichii Ohonon ja Shiegeo Shingon kehittämä menetelmä ja pohjautuu Henry Fordin keksimään tuotantostrategiaan. JOT:in perusajatuksena on saada oikeat komponentit työpisteille oikeaan aikaan ja varmistaa että tämä toimenpide jatkuu toimivana kokonaisuutena koko jalostusketjun läpi. Kun sovelletaan solutuotantoa, niin siihen liittyy hyvin monessa tapauksessa JOT ajattelutavan soveltaminen. JOT:in avulla pyritään pääsemään mahdollisimman vähäiseen välivaraston tarpeeseen, pieniin aseteaikoihin ja mahdollisimman vähäiseen materiaalin kuljettamiseen.

JOT-ajattelutapa koostuu kahdesta erilaisesta pääpiirteestä, Japanilaisesta tuotantofilosofiasta sekä Amerikkalaisista sovelluksista. Japanilainen ajattelutapa pyrkii poistamaan kaiken turhan tuotannosta, missä taas Amerikkalainen malli soveltaa teknistä kehitystä ja ympäristön tiedonhallintaa parantaakseen tuottavuutta. Kummankin mallin perusteena on ihmiset ja sen kautta niiden asenteet, jotta saadaan kokonaisuus toimivaksi hyödyntäen teknisiä keinoja (KUVIO 6.) mukaan. Asenteilla tarkoitetaan yhteisön avoimutta, rehellisyyttä ja luottamusta järjestelmää kohtaan, sillä JOT-ajattelutapa tarvitsee esteettömän informaatiojärjestelmän, ja tämän kautta vaatii koko työyhteisön panostuksen toimiakseen. (Tekninen tiedotus 24/84 1984, 7).

JOT-tuotannon toteutamiseksi on olemassa teknisisesti painotettuja keinoja, millä päästään mahdollisimman hyvään tuotannon virtauttamiseen ja pieniin läpimenoaikoihin. Teknisillä keinoilla tarkoitetaan konkreettisia muutoksia tiloissa ja tuotannonohjauksessa. Yleisempiä keinoja ovat layout muutokset, tuotannon aseteaikojen pienentäminen sekä tuotannon ohjaustavan muuttaminen imuvetoiseksi.



KUVIO 6. JOT- tuotannon rakennemalli

4.6.1 Layoutin muuttaminen

Layouttia muuntamalla ryhmäteknologisiin ryhmiin tai tuoteorjentoituksi soluiksi saadaan tuotannon ohjauttavuutta tehokkaamaksi ja joustavammaksi, jonka hyötyjä ovat mm. lyhyt tuoteiden läpäisy aika, pieni KET ja pienet etäisyydet kuljetuksissa työpisteiden välillä. Layout muutoksia tehdessä on syytä ottaa huomioon organisaation sidosryhmät, jotka ovat tekemisissä muutosten kanssa, jotta saavutetaan paras mahdollinen lopputulos tuotannon sisäisillä layout muunnoksilla.

4.6.2 Aseteaika

Aseteajalla tai apuajalla tarkoitetaan sitä aikaa, joka kestää ennen kuin itse kappaleita voidaan alkaa työstää. Aseteaikaan kuuluvat mm. materiaalin haku, asetteiden teko työkoneisiin, työvaiheleimaukset ja valmiiden kappaleiden kuljetukset. Tuoteorjentoituilla layout muunnoksilla päästään pienempiin aseteaikoihin, sillä keskittymällä samaan tuotteeseen vähennetään tarvetta muuttaa asetteita koneille. Pidemmällä aikatähtäimellä pienet aseteajat paremman läpimenoajan lisäksi pienentävät myös varastointikustannuksia. (Tekninen tiedotus 24/84 1984, 15).

4.6.3 Imuohjaus

Imuohjauksella tarkoitetaan että impulssi tuotannolle tulee jalostusketjun loppupäästä, joka on lähiten asiakasta. Imuohjauksessa ohjataan jalostusprosessin viimeistä työvaihetta, minkä etuna on taas yksinkertaistettu tuotannonohjaus ja tuotannon valvonta. Imuohjauksen ideana on se, että seuraava työvaihe ohjaa edellistä ja näin jalostusprosessia ohjataan imun mukaan. Imuohjauksen merkittävämpiä etuja ovat lyhyt tuotannon läpimenoaika ja tuotannonohjauksen tarkkuus jalostusketjun loppupäässä. Tarkkuudella tarkoitetaan mm. Sitä ettei tuotannossa synny ylimääräisiä kappaleita, mikä taas näkyy pienentyneenä materiaalin hukkana. (Tekninen tiedotus 24/84 1984, 17).

4.7 Lean-menetelmä

Lean on filosofinen toimintatapa, jonka keskeisenä periaatteena on saada organisaatio toimimaan mahdollisimman tehokkaasti käyttäen omia resursseja ja jatkuvasti kehittää niitä, jotta saadaan kaikki hyöty irti tuotannosta lisätäkseen lisäarvoa tuottavalle toiminnalle. Lean-menetelmä on kehittynyt Toyotan valmistusmenetelmästä ja siihen yhdistetty monia muita menetelmiä, jotka on räätälöity menetelmään saadakseen parhaan hyödyn. Leania voidaan myös pitää eräänlaisena työkalupakkina, josta löytyy erilaisia toimintamuotoja yrityksen toimintatavan ja tuotantoprosessien tehostamiseksi. (Merikallio L & Haapasalo H 2009.)

Lean-menetelmä koostuu kolmesta osa-alueesta: ihmisistä, prosesseista ja työkaluista joita pyritään kehittämään jatkuvasti. Järjestelmä vaatii toimiakseen, että nämä kaikki kolme osa- aluetta toimivat tasapainoisesti keskenään, mikä taas luo haasteen organisaatiolle missä tätä menetelmää pyritään hyödyntämään, sillä se vaikuttaa koko organisaatioon toimintaan ja vaatii sitoutumista joka tasolla.

4.7.1 Leanin työkalut

Leanissa on useita erilaisia työkaluja, joilla pyritään pääsemään tavoitteisiin. Työkalut ovat hyvin organisaatiokohaisia ja ne toimivat apuvälineinä, ei niinkään ohjauksena parempien tulosten saavuttamiseksi. Leanissa on myös tärkeää käyttää työkaluna erillaisia mittareita, joilla voidaan seurata tuloksia ja todentaa tavoitteiden saavuttamista.

Leanin yleisempiä työkaluja ovat:

- Itseohjautuvat tiimit
- 5S-menetelmä
- Standardisointi
- Six-sigma analyysi
- JOT-menetelmä
- Kanban järjestelmä
- Viisikertaa miksi (5 x Why)
- Poka-Yoke

4.7.2 Henkilöstön resurssit

Leanin toiminnan edellytys on henkilöstön huomioiminen, sillä henkilöstön panostus leanissa on erittäin tärkeässä asemassa. Jotta jatkuva kehittäminen on mahdollista, tarvitaan työntekijöiden sitoutuminen organisaation toimintaan, jotka omalta osalta ovat motivoituneita ja halukkaita kehittämään sen toimintaa. Leanissa pyritään keventämään työnjohdon työn määrää antamalla työntekijöille enemmän vastuuta ja pyrkimällä luomaan tiimejä tuotantoon, jotka ovat itseohjautuvia pieniä organisaatioryhmiä ja jotka kykenevät itse tekemään pienimuotoisia tuotannonohjaukseen liittyviä päätöksiä. Henkilöstöressurssien kehittäminen on haastelisin Leanin osa-alue, sillä organisaation työskentelytapoja on helpompaa muuttaa mitä työntekijöiden asenteita ja käytössä olevaa organisaation kulttuuria. (Merikallio L & Haapasalo H 2009.)

4.7.3 Prosessit

Prosessit ohjaavat yrityksen toiminnan tehtävät ja tehtäväketjut. Prosessit ovat välttämättömiä tuotannonohjauksessa, laadun varmistamisessa ja tiedon keräämisessä (Merikallio L & Haapasalo H 2009). Prosessien jatkuva kehittäminen Leanissa on olennaista, sillä yritysten toimintaympäristöt ja kilpailutilanteet pysyvät harvoin samana, mikä taas aiheuttaa painetta organisaatiolle tehostaa toimintatapoja joka tasolla.

5 TUOTANTOSOLUN MALLINTAMINEN JA TYÖVAIHEIDEN JÄRKEISTÄMINEN

5.1 Yleistä

Tämän opinnäytetyön pohjana toimii Mecanovan tuotannonkehityksen projekti tehdä oma tuotantosolu kotelomaiselle ohutlevykappaleelle. Ajatuksen pohjana oli lisätä kotelon aihion särmäys kokoonpanon ohelle ja järjeyttää kotelon kaikki kokoonpantavat työvaiheet toimivaksi kokonaisuudeksi. Työn tarkoituksena oli tehdä solusta layout ja 3D-malli tuotantosolusta. Lisäksi työhön sisältyi uusien standardiaikojen kellottaminen ja niiden pohjalta simuloida solun toiminta. Tuotantosolulle oli alustavat paikat suunnitteilla yrityksen tuotantolayoutissa ja niiden pohjalta tämä opinnäytetyön layout tehtiin.

5.2 Solun mallintaminen

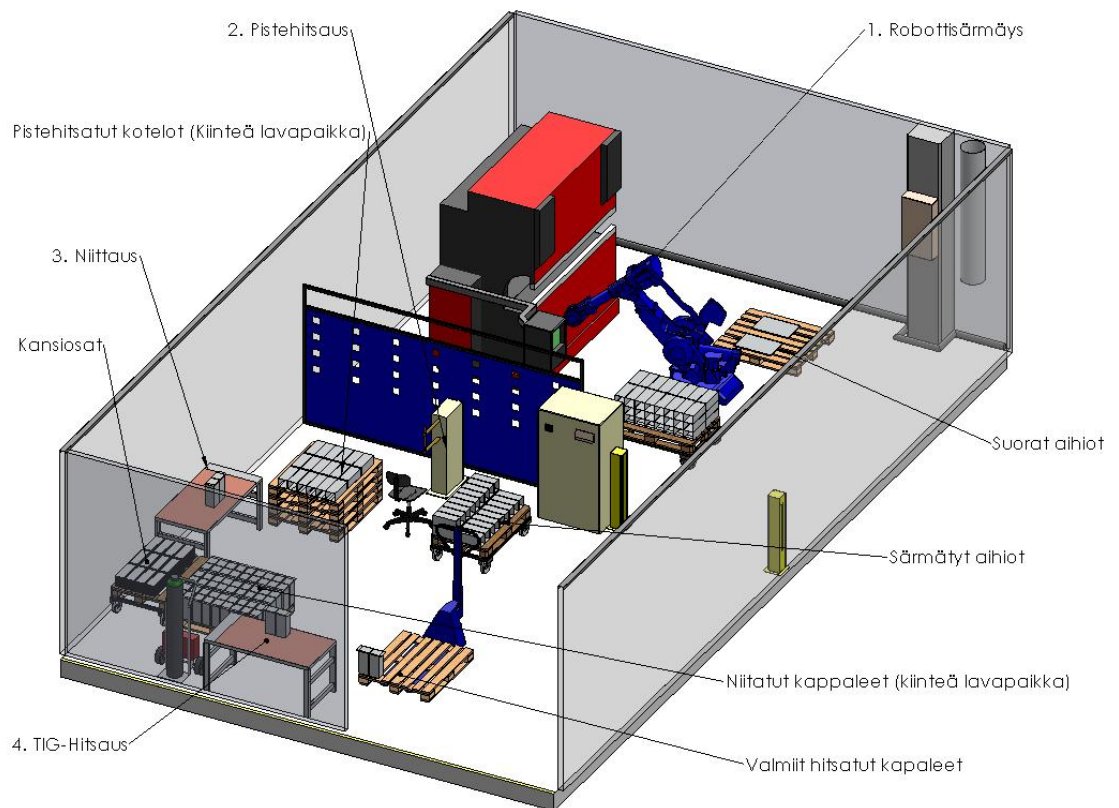
Tuotantosolun mallintaminen tehtiin Solidworks 3D CAD - ohjelmalla. Alkutilanteena oli miettiä mitä koneita ja tarvikkeita tarvitaan solussa, ennen kuin mallintamiseen tarvittavia koneita voitiin mitoittaa. Solun pääajatuksena oli lisätä särmäystyövaihe kokoonpanon lisäksi, joten pistehitsauksen, niittauksen ja TIG-hitsaukseen tarvittavien laitteiden lisäksi lisättiin särmäysrobotti, särmäyskone ja niiden turvalaitteet.

Ennen kuin varsinaista mallintamista ohjelmistolla voitiin tehdä, oli fyysisesti mitoitettava tarvittavat komponentit ja solun koko. Solun koon mitat työhön sai Mecanovan kehitysinsinöörin tekemästä 2D mallista. Muut soluun tarvittavat komponentit, särmäyskone, hitsauslaitteet, lavat, turvalaitteet, vaativat mitoittamista tuotantotiloista.

Komponenttien mallintamisen jälkeen voitiin hahmotella solun toimintaa ja järjeistää työvaiheita Solidworks ohjelmistolla. Solun toimintaa hahmottaessa otettiin huomioon tuotantotekniset ajattelutavat ja pyrittiin järjeistämään solun toiminta mahdollisimman tehokkaaksi. Lopputuloksena saatiin kolme toimivaa malliratkaisua, jotka oli mahdollista toteuttaa käytännössä ja jotka palvelivat hankkeen tavoitteita.

5.2.1 Malli A

Kuvassa (KUVIO 7.) oleva malliratkaisu toimi pohjana solun mallintamiselle ja työvaiheiden järjeistämiseksi. Tämän malliratkaisun ajatuksena on, että suorana olevat ahiot viedään särmäysrobotille, missä ne särmäystyövaiheen jälkeen pinotaan tiettyinä kappalemäärinä kuormalavalle, joka on kuljetusvaunun päällä. Kuljetusvaunulla särmätyt kotelot viedään pistehitsaukseen, missä kotelon särmä hitsataan kiinni ja valmiit hitsatut kappaleet pinotaan viereiselle pinontalavalle seuraavaa työvaihetta varten. Seuraavana työvaiheena on niittauspiste, joka kokoaa kotelot kansiosaan ja pinoo ne viimeistä TIG-hitaustyövaihetta varten. Viimeisen työvaiheen jälkeen valmiit kotelot ovat solun kulkuaukon vieressä valmiina vietäväksi pintakäsittelyyn.



KUVIO 7. Solumalli A

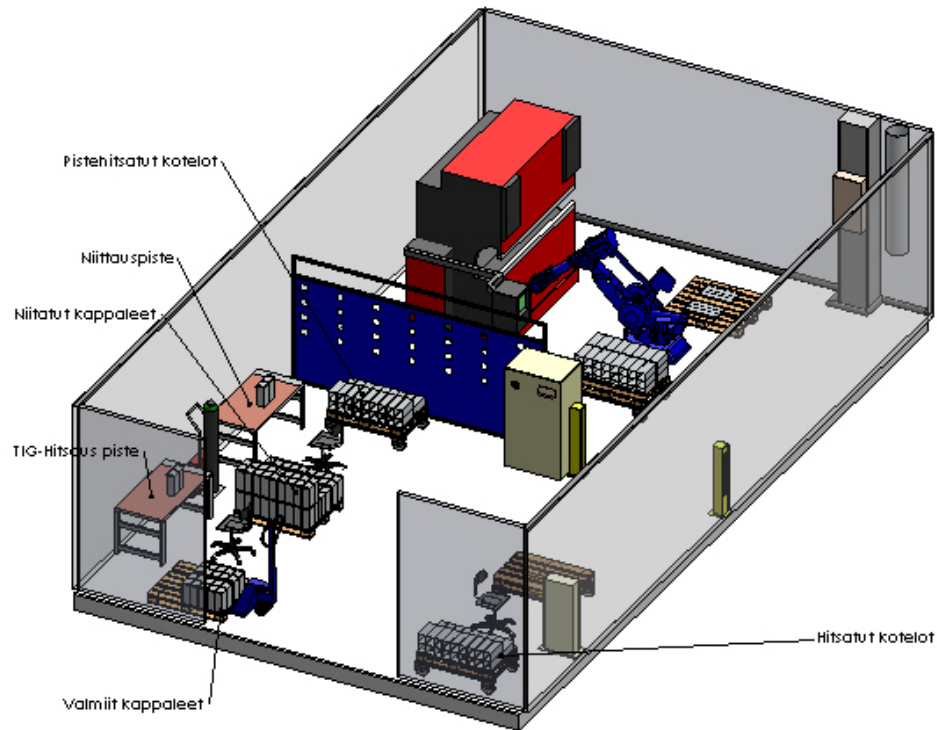
Erityistä tässä mallissa on huomioida kuljetettavien kappalaleiden vähäinen liike, joka minimoitiin työvaiheiden järkeistämällä. Tässä ratkaisussa kappaleiden siirrot tapahtuvat ainoastan pistehitsauksen ja särmäyksen välillä, jossa kahdella kuljetusvaunulla suoritetaan särmättyjen kappaleiden haku, kun särmättyjä kappaleita on tietty määrä lavalla. Pistehitsauksesta eteenpäin valmiit kappaleet pinotaan aina seuraavan työpisteen viereen, mistä ne voidaan heti ottaa käyttöön ilman erillistä siirtämistä.

Tämän ratkaisun etuja on vähäinen tarve siirtää kappaleita solun sisällä ja selkeä työkulku työvaiheiden välillä, missä valmiit kappaleet siirtyvät aina seuraavan työvaiheen viereen työstettäväksi. Malliratkaisu käyttää tehokkaasti JOT:ttia, missä turha liike on minimoitu ja jokaista työvaihetta ”ruokitaan” kokoajan uusilla kappaleilla aina koko kokoonpanono jalostusketjun läpi. Tämän ratkaisun etuja on myös hitsauspisteiden kaasujenpoisto, joka voidaan järjestää yksinkertaisella rakenteella, johtuen hitsaustyöspisteiden sijainnista sollussa.

5.2.2 Malli B

Kuvan (KUVIO 8.) solumallin periaate, ja työnkulku on identtinen A:han verrattuna. Erona edelliseen on, että tässä mallissa käytetään useita lavakärryjä kappaleiden siirtelyyn solun sisällä, ja pistehitaustyövaihe sijaitsee erikseen niittauksesta ja TIG-hitsauksesta. Tämän ratkaisun etuina on vierekkäin asetetut kokoonpanotyöpisteet niittaus ja TIG- hitsaus. Tämän mallin vierekkäisten työspisteiden etu on se, että niiden väliin voidaan sijoittaa kuormalava mihin voidaan pinota kokoonpannut kappaleet. Tämä järjestely mahdollistaa saman työvaiheen suorittamisen kummallakin työspisteellä, jonka avulla voidaan helpottaa niittauspisteen kappaleajasta johtuvaa pullonkaulailmiötä.

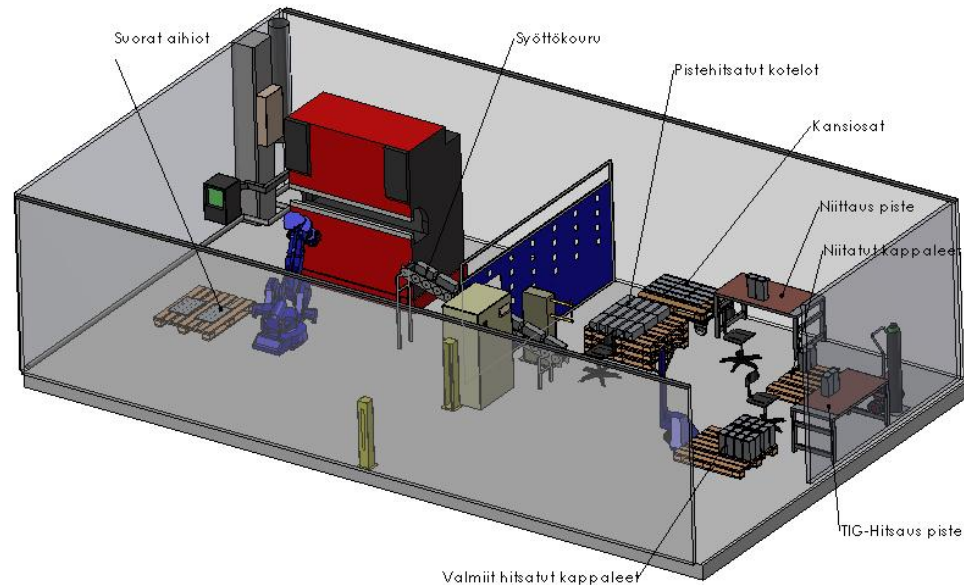
Tämän malliratkaisun huonoja puolia on solun sisällä tapahtuva edestakainenliike, johtuen pistehitsauksen sijainnista ja tarpeesta käyttää useampaa lavakärryä kappaleiden siirtelyyn työspisteiden välillä. Mallin rakenne myös aiheuttaa vaikeuksia kaasunpoiston järjestämisessä hitsaustyöspisteiden kohdalla. Tämä johtuu siitä että kumpikin työpiste sijaitsee eri puolella solua ja näin ei pystytä yksinkertaistamaan rakennetta hitsauskaasujen poistolle.



KUVIO 8. Solumalli B

5.2.3 Malli C

Tämän ratkaisumallin periaate ja työnkulku on samanlainen kuin edellisten mallien. Tämän ratkaisumallin erikoisuus näkyy kuvassa (KUVIO 9) , missä särmättyjen koteloiden siirtäminen pistehitsaukseen tapahtuu eräänlaisen kourun avulla, mikä kuljettaa särmätyt kappaleet pistehitsaukseen. Tässä tapauksessa pistehitsaus ohjaa särmäystä syöttökourun kapasiteetilla, kun kourun kapasiteetti saavuttaa tietyn pisteen, niin särmäysrobotti pysähtyy ja jatkaa työkiertoa vasta, kun kourusta vapautuu tilaa.



KUVIO 9. Solumalli C

5.3 Uusien kappaleaikojen kellottaminen

Kappaleaikojen kellottaminen tapahtui keskiarvomenetelmällä, jossa otettiin kaikille kokonanon työvaiheille ja apuajoille uudet standardiajat, lukuun ottamatta särmäysvaihetta. Uusien kappaleaikojen kellottaminen tapahtui 20 kappaleen otoksella, missä otettiin kokonaisaika kauanko kappaleiden työstämisessä kestää ja jaettiin kokonaisaika kappalemäärällä, jolloin saatiin kappaleaika joka työvaiheelle.

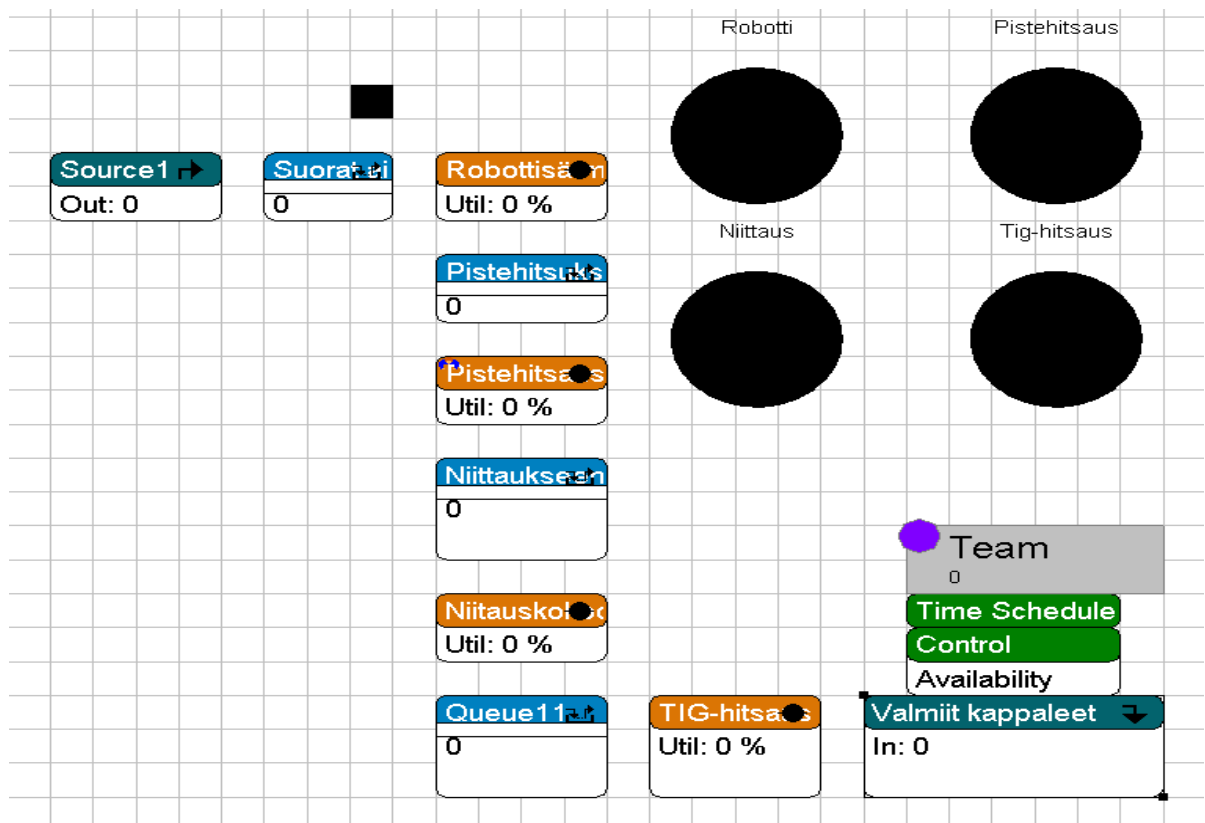
Apuajat kellotettiin samalla keskiarvoperiaatteella jokaiselle kokoonpano työvaiheelle. Aluksi kellotus tapahtui materiaalin ja kuormalavojen haulla, sitten kellotettiin erikseen tavaroiden vieminen seuraavaan työpisteeseen ja yhteenlaskettu apuaika jaettiin 20:lle kappaleelle.

5.4 Tuotannon simulointi

Tuotannon simulointi suoritettiin Enterprise Dynamics ohjelmistolla (ED) ja, simulaatiomalli tehtiin solumalli A:n mukaan, jossa hyödynnettiin uusia kellotettuja kappaleaikoja kaikille

työvaiheille ja niiden kautta tehtyjen arvioiden perusteella pystyttiin tekemään simulointimalli solulle. Simuloinin todellisuutta lisättiin asettamalla joka työvaiheelle taukoajat, häiriöajat ja aseteajat tuotannosta saatujen tietojen perusteella. Huomioitavaa simulaatiossa on myös se, että solussa työskentelee kaksi työntekijää, josta toinen käyttää pistehitsausta sekä TIG-hitsausta ja yksi työntekijä käyttää niittauspistettä. Simulaation tarkoitus oli saada tietoa koneiden käyntiajoista, pullonkauloista, sekä solun tuotto työpäivälle.

Simulaatiomalli koostuu ED atomeista ja jokainen atomi kuvaa jotakin toimintoa tai vaihetta. Kuvassa (KUVIO 10) näkyy simulaation rakenne ja käytetyt atomit. Simulaatiomallissa tärkeimmät osat ovat oranssilla värillä kuvatut laatikot jotka kuvaavat työvaiheita, mustat pallot kuvaavat jokaisen työpisteen käytettyä aikaa mihin ja mihin se menee.

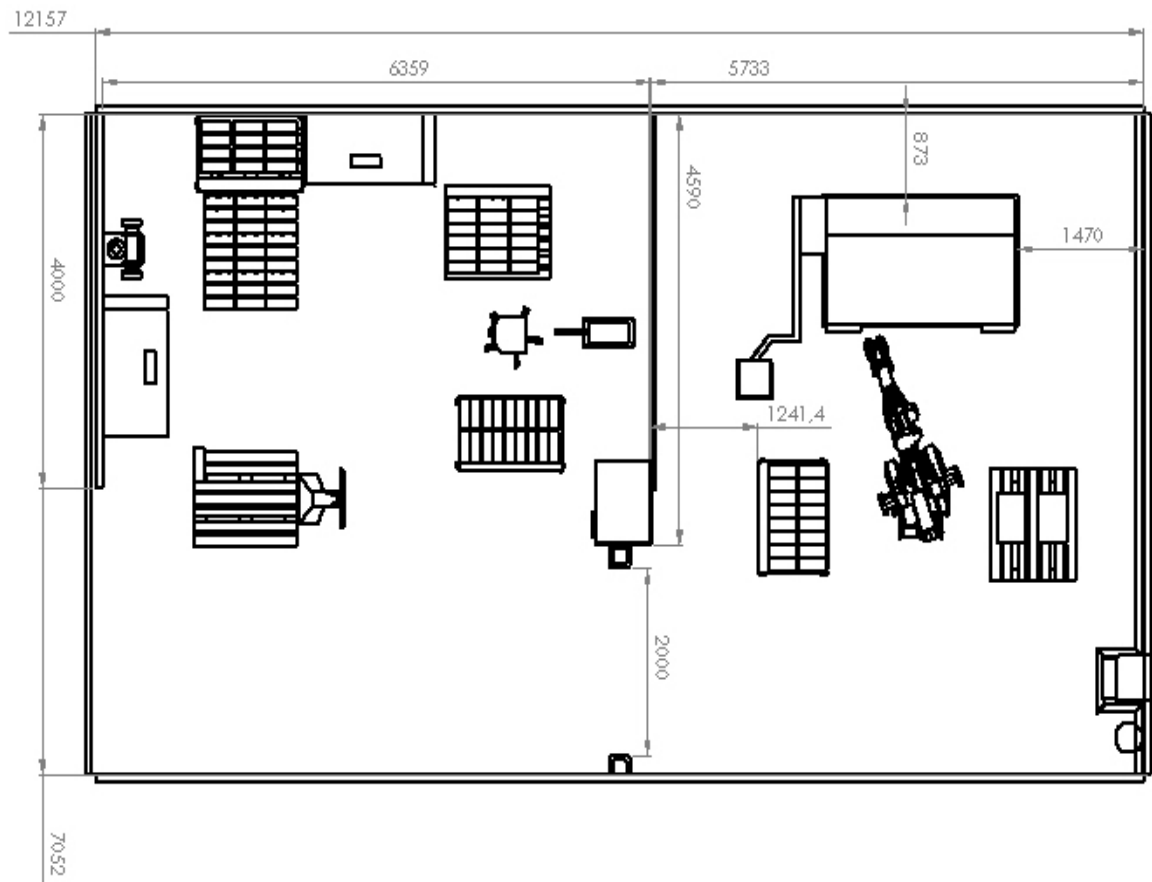


KUVIO 10. Simulaatiomallin rakenne ja käytetyt atomit

6 TULOKSET

6.1 Layoutin valinta

Kaikki kolme soveltuva layoutmallia kävimme huolellisesti läpi Mecanovan kehitysinsinöörin kanssa ja teimme myös vertailuja mallien välillä, missä päädyttiin malli A (KUVIO 8) vaihtoehtoon. A malli soveltui parhaiten solun layoutiksi ja siitä tehtiin 3D-mallin lisäksi kuvan (KUVIO 11) mukainen layout pohjapiirros solulle. Solun valintaan vaikutti vähäinen sisäisen kuljettamisen tarve sekä selkeä työvaiheistus, mikä palveli parhaiten projektin tavoitteita.



KUVIO 11. Solun layout pohjapiirros

Malli A:n työvaiheiden järjeistyksellä päästään vähäiseen materiaalin kuljettamiseen työpisteiden välissä, ja valmiit kappaleet voidaan suoraan pinota seuraavaan työvaiheen viereen. Mallin valintaan vaikutti myös koneiden sijoittelu, missä alkuperäisenä ideana oli tehdä peilikuva kyseisestä mallista, jossa koneet olivat sijoitettu solun oikealle puolelle. Työntekijöitä haastatteleamalla päädyttiin nykyiseen mallin koneiden aseteluun, sillä tällä järjestelyllä päästään helpomalla robottiohjelman muunnoksilla (Työntekijä A, 2012.), koska robotin pinontasuunta pysyy samana nykyiseen verattuna ja näin pinonnalle ei tarvitse tehdä muutoksia ohjelmaan (Työntekijä B, 2012.)

Malli C oli toinen potentiaalinen vaihtoehto solun malliksi. Malli C:n kohdalla päädyttiin tulokseen missä sitä voidaan käyttää mallin A:n kehittämiseen. A:n valintaan vaikutti myös nopeampi käyttöönotto C:hen verrattuna, sillä C olisi vaatinut oman särmäysohjelman robotille.

Nykyisen hajautetun tuotannon muuttaminen tuotantosoluksi vähentäisi merkittävästi turhaa edestakaista liikettä tuotannossa. Solun vieressä olevaa välivaraston tuotteiden muotoa muutettiin siten, että siinä varastoitaisiin särmäykseen tulevat kotelonaihoit suorina levyinä. Tämä järjestely toimisi niin, että suoria aihoita otettisiin aina tarpeen mukaan ja tuotteita tehtäisiin aina tarvittava määrä tilauksen mukaan (Jari. s, 2012). Viitaten Savukoskseen, tällä järjestelyllä nykyiseen verrattuna päästäisiin 6:een lavapaikan välivarastoon entiseen 24:än sijaan, joka tarkoittaisi 75% pienempää välivaraston koon tarvetta. Lisäksi tällä solu järjestelyllä päästäisiin eroon tuotantotiloissa olevasta kotelon aihoista aiheutuvasta KET:istä, sekä välivaraston aiheuttavasta ylikapasiteetista.

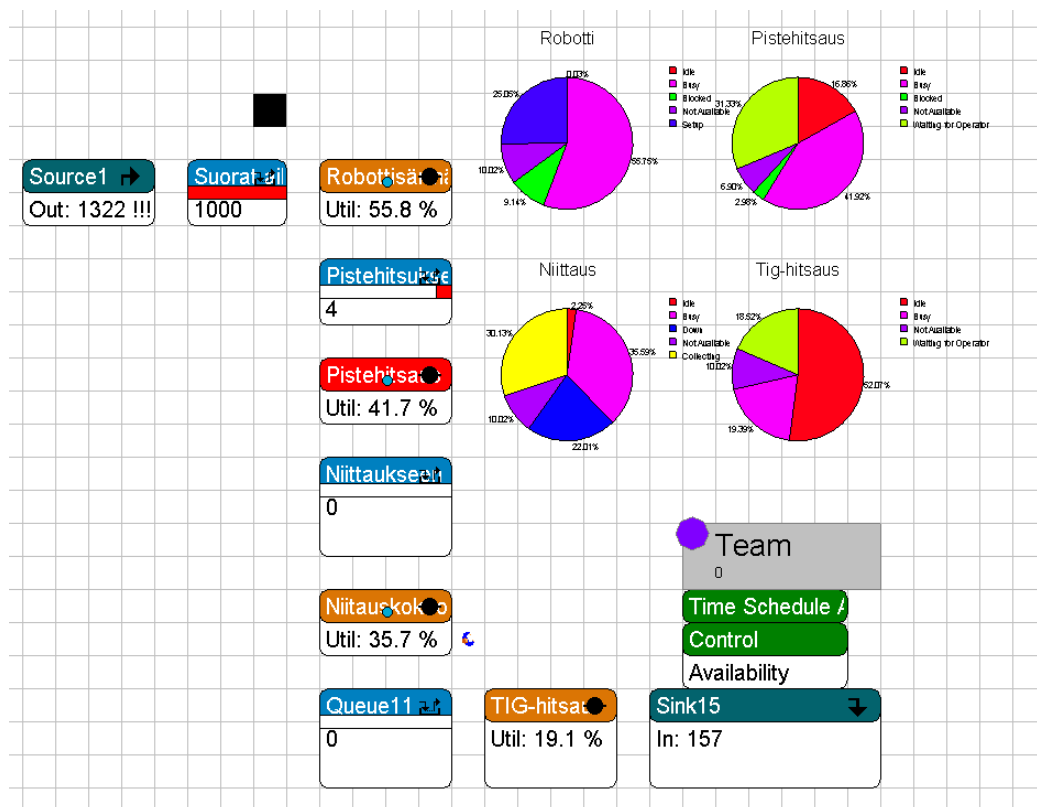
6.2 Simulaation tulokset

Simulaatio tarjosi hyödyllistä tietoa solun toiminnasta. Simulaatio ajettiin tuotannosta saatujen kappaleaikojen perusteella ja niiden pohjalta tehdyn arvion mukaan syötettiin kappale ja aseteajat simulaatioon. Arvioaikojen kappaleajat pysyvät samana nykyiseen verrattuna, sillä

solun työvaiheisiin ei tule mitään muutoksia, vaan simulaatiolla tutkittiin miten aseteaikojen pienentyminen vaikuttaa läpimenoon.

Simulaatio ajoja tehtiin useita muuttamalla työpisteiden aseteaikoja ja muuttujien parametrejä. Tällä tavalla solun toiminnasta sai laajemman käsityksen, kun toimintaa tutkittiin eri aseteaikojen ja muuttujien vaikutusta läpimenoon. Kuvasta (KUVIO 12) näkyy keskiverto simulaatio 8 tunnin ajolla. Kappalemäärät yhdelle 8 tunnin päivälle asettuivat 156 – 157 kappaleen välille. Tämä vähäinen valmiiden kappaleiden välinen hajonta on selitettävissä robotisärmäyksellä, missä särmäys on solun pullonkaula työvaihe ja robotisärmäyksessä olevat tarkat kappaleajat selittävät valmiiden kappaleiden vähäisen hajonnan.

Simulaatiosta saatujen tietojen perusteella päästään n. 18% tehokkaampaan läpimenoaikaan nykyiseen verrattuna, kun kappaleiden välinen liikehdintä työpisteiden välillä saadaan minimiin.



KUVIO 12. Simulaation keskiarvotulos kahdeksan tunnin ajalle

7 POHDINTAA JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Opinnäytetyössä käsiteltiin kotelomaisen ohutlevy tuotteen työvaiheiden järkeistämistä, käyttäen nykyaikaisia tuotantoteknisiä ajattelutapoja ja keinoja paremman tuotevirtauksen saavuttamiseksi. Työhän kuului tuotantosolun 3D-mallintaminen, layoutin tekeminen, ja uusien kappaleaikojen kellottaminen. Uusien kappaleaikojen pohjalta pystyttiin arvioimalla tutkia tuotantosolun hyötyjä simulaation avulla, miten turhan liikkeen poistaminen työvaiheiden välillä vaikuttaa tuotannonvirtaukseen.

Opinnäytetyön tulokset olivat hyviä ja havainnollisia. Tuotantosolusta ja eri solumallivaihtoehdoista sai havainnollisen kuvan siitä miltä solu näyttäisi kokonaisuudessaan tuotannossa. 3D mallin avulla pystyi yksityiskohtaisesti kuvailemaan solun työpisteitä, sekä tarvittavia koneita ja laitteita. Kappaleaikojen pohjalta tehty simulaatio oli 3D- mallin lisäksi oivallinen työkalu tutkia solussa tapahtuvan tuotannon kulkua, missä voitiin kokeilla eri muuttujien ja aseteaikojen vaikutusta solun sisällä tapahtuvassa tuotannossa. Tämän opinnäytetyön aikana toimeksiantajayritys on ottanut harkintaan toteuttaa työn solumalli.

Opinnäytetyön aikana opin paljon tuotannon virtautamisesta ja siitä miten tuotantoteknisiä keinoja käyttäen voidaan saavuttaa entistä parempia tuloksia tuotannossa samoilla resursseilla. Työssä oli myös olennaisena osana ohjelmistojen käyttö. Opin mallintamaan isoja kokonaisuuksia Solidworks ohjelmistolla, sekä soveltamaan Enterprise Dynamicsin käyttöä oikeissa olosuhteissa. Työn aikana opin myös arvostamaan sitä miten tärkeää on kerätä mahdollisimman tarkka tietoa tuotannosta, jotta saadaan oikeita ja uskottavia tuloksia simuloinnista.

LÄHTEET

- Bottleneck Theory in Operation Management. Www-dokumentti. Saatavissa: http://www.ehow.com/info_7935877_bottleneck-theory-operation-management.html. Luettu 12.1.2013.
- Jari, S. 2012. Kehitysinsinöörin haastattelu 13.12.2012. Mecanova Oy. Nivala.
- Kauppinen, P., Kivistö, I., Strömberg, O. 1985. Tuotannon ohjaus metalliteollisuudessa. Valtion painatuskeskus.
- Merikallio L & Haapasalo H 2009. Lean tuotantojärjestelmä raportti. Www-dokumentti. Saatavissa: www.tekes.fi/fi/gateway/PTARGS_0.../lean_raportti.pdf . Luettu 10.12.2012.
- Rantala, V. 2010. Uuden tuotantoprosessin layoutin suunnittelu. Opinnäytetyö. Seinäjoen ammattikorkeakoulu. Kone- ja tuotantotekniikka.
- Tekninen tiedotus 14/87. Tuotannon analysointi ja virtauttaminen. 1987. Metalliteollisuuden Kustannus Oy.
- Tekninen tiedotus 24/84. JOT eli juuri-oikeaan-tarpeeseen-tuotannon lähtökohdat. 1984. Metalliteollisuuden Kustannus Oy.
- Tekninen tiedotus 43/84. Japanilainen tuotantoajattelu. 1984. Metalliteollisuuden Kustannus Oy.
- Työntekijä A. 2012. Työntekijän haastattelu 1.12.2012. Mecanova Oy. Nivala.
- Työntekijä B. 2012. Työntekijän haastattelu. 1.12.2012. Mecanova Oy. Nivala.
- Work in Progress (WIP) Definition. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.investopedia.com/terms/w/workinprogress.asp#ixzz2LFDjeqdY>. Luettu 3.2.2013.
- Yritysesitesite. 2010. Mecanovan yritysesite. 2010.